



Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión
Escuela de Posgrado

**Evaluación de la calidad nutricional y sensorial de un brownie sustituido con
germinados de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*)**

Tesis
Para optar el Grado Académico de Maestra en Ciencias de los Alimentos

Autora
Yolanda Maricruz Eguilas Caushi

Asesor
Mtro. Elfer Orlando Obispo Gavino



Huacho – Perú
2026



Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

Reconocimiento: Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



UNIVERSIDAD NACIONAL JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN

LICENCIADA

(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SU/NEDU/CD de fecha 27/01/2020)

Maestría en Ciencia de los Alimentos

METADATOS

DATOS DEL AUTOR (ES):		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	FECHA DE SUSTENTACIÓN
Eguilas Caushi Yolanda Maricruz	76406258	08/07/2026
DATOS DEL ASESOR:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Obispo Gavino Elfer Orlando	15721919	https://orcid.org/0000-0002-9238-6179
DATOS DE LOS MIEMBROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-DOCTORADO:		
APELLIDOS Y NOMBRES	DNI	CÓDIGO ORCID
Carmen Rosa Aranda Bazalar De Torero	15603334	https://orcid.org/0000-0002-2121-3094
Oscar Otilio Osso Arriz	15584693	https://orcid.org/0000-0003-1301-0673
Cecilia Maura Mejía Domínguez	15636319	https://orcid.org/0000-0003-1914-8825

YOLANDA MARICRUZ EGUILAS CAUSHI 2026-0135...

EVALUACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL Y SENSORIAL DE UN BROWNIE SUSTITUIDO CON GERMINADOS DE TARWI...

DGI-POSGRADO 2026

Dirección de Gestión de la Investigación-VRI 2026

DIRECCION DE GESTION DE LA INVESTIGACION

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:old::1:3493134490

Fecha de entrega

27 feb 2026, 2:23 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

27 feb 2026, 2:27 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS_ULTIMA_REVISION.pdf

Tamaño del archivo

2.6 MB

169 páginas

30.857 palabras

177.898 caracteres



Página 2 de 181 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega: trn:old::1:3493134490

20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Exclusiones

- N.º de fuentes excluidas
- N.º de coincidencia excluida

Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 9% Publicaciones
- 10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, ya que es Él quien guía mi camino con amor y bendición.

A mi hija Eliana, que es mi gran bendición y motivo.

A mis queridos padres, Juan y Yolanda por su gran amor y apoyo incondicional en mi formación personal y profesional.

A mi esposo Julio, por siempre estar a mi lado, brindando su apoyo con gran amor.

A mis queridos hermanos Joel, Patricia Daniel y sobrinos porque sé que disfrutan cada logro que doy en la vida.

A mi hermano Juan que vive en nuestros corazones, por su lección de vida y amor.

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, doy gracias a nuestro creador Jehová Dios, por su gran amor y la oportunidad de disfrutar un día más de vida para aprender, alcanzar mis sueños y todo lo que Él tiene preparado para mí.

A mis queridos padres, les agradezco infinitamente porque me enseñaron a nunca rendirme y ser perseverante en alcanzar sueños y metas. Su gran ejemplo, amor y confianza en mí, inspiró a lograr este trabajo de investigación y siempre serán fuente de motivación para seguir adelante.

A mi esposo, por brindarme su apoyo, estar a mi lado en todo momento, y luchar juntos por nuestros sueños.

A mis hermanos y sobrinos por la confianza puesta en mí para lograr este trabajo.

Al Mtro. Elfer Orlando Obispo Gavino por el asesoramiento en el presente trabajo de investigación.

Al Dr. Reynaldo Justino Silva Paz por su aporte de conocimientos en el desarrollo y ejecución de este trabajo de investigación.

A todas las personas que de manera directa e indirecta apoyaron en la realización del trabajo de investigación.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	5
AGRADECIMIENTO	6
RESUMEN	12
ABSTRACT	13
INTRODUCCION.....	14
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
1.1. Descripción de la realidad problemática	16
1.2. Formulación del problema.....	18
1.2.1. Problema general	18
1.2.2. Problemas específicos:.....	18
1.3. Objetivos de la Investigación.....	19
1.3.1. Objetivo general	19
1.3.2. Objetivos específicos	19
1.4. Justificación de la Investigación	20
1.5. Delimitaciones del estudio.....	21
CAPITULO II. MARCO TEÓRICO	22
2.1. Antecedentes de la investigación	22
2.2. Investigaciones internacionales.....	23
2.3. Investigaciones nacionales.....	26
2.3.1. Bases teóricas.....	29
2.3.2. Bases filosóficas	41
2.3.3. Definición de términos básicos.....	46
2.4. Hipótesis de investigación:	47
2.4.1. Hipótesis general	47
2.4.2. Hipótesis específicas:.....	47
2.4.3. Operacionalización de variables	48
CAPITULO III. METODOLOGÍA.....	49
3.1. Diseño metodológico	49
3.2. Población y muestra.....	49
3.2.1. Población	49
3.2.2. Muestra.....	50
3.3. Técnicas de recolección de datos.....	50
3.3.1. Obtención de harinas de tarwi y lenteja germinada	50
3.3.2. Elaboración de brownies.....	51
3.3.3. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de brownies.....	53
3.3.4. Evaluación de la capacidad antioxidante	54
3.3.5. Análisis sensorial de brownies.....	56
3.3.6. Análisis estadístico	56

3.4. Técnicas para el procedimiento de la información.....	57
CAPITULO IV. RESULTADOS	58
4.1. Análisis de resultados	58
4.1.1. Composición fisicoquímica de los brownies.....	58
4.1.2. Parámetros colorimétricos de los brownies.....	79
4.1.3. Perfil de textura de los brownies.....	97
4.1.4. Compuestos bioactivos de los brownies	112
4.1.5. Evaluación Sensorial	118
4.1.6. Determinación de los parámetros óptimos del brownie	130
4.2. Contrastación de hipótesis	131
4.2.1. Propiedades fisicoquímicas.....	131
4.2.2. Parámetros colorimétricos	134
4.2.3. Perfil de textura	137
4.2.4. Compuestos bioactivos	139
4.2.5. Evaluación sensorial	141
4.2.6. Determinación de los parámetros óptimos del brownie	142
CAPITULO V. DISCUSIÓN	143
5.1. Discusión de resultados	143
CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	145
6.1. Conclusiones.....	145
6.2. Recomendaciones	146
CAPITULO VII. REFERENCIAS.....	147
ANEXOS.....	160

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Genotipos nativos de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i> Sweet) del altiplano peruano.	30
<i>Figura 2.</i> Lenteja	33
<i>Figura 3.</i> Evolución temporal de eventos físicos y metabólicos que ocurren durante la germinación (Fases I y II) y el crecimiento temprano de las plántulas (Fase III)	37
<i>Figura 4.</i> Esquema de harinas germinadas y elaboración de brownies	51
<i>Figura 5.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de pérdida de peso	62
<i>Figura 6.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de pH	64
<i>Figura 7.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de acidez	66
<i>Figura 8.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de humedad	68
<i>Figura 9.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Aw	70
<i>Figura 10.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Ceniza	72
<i>Figura 11.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Proteínas	74
<i>Figura 12.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de Grasa	76
<i>Figura 13.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Fibra	78
<i>Figura 14.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de L* en la corteza	83
<i>Figura 15.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de a* en la corteza	84
<i>Figura 16.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de b* en la corteza	85
<i>Figura 17.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de C* en la corteza	86
<i>Figura 18.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de H* en la corteza	87
<i>Figura 19.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de L* en el interior	92
<i>Figura 20.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de a* en el interior	93
<i>Figura 21.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de b* en el interior	94
<i>Figura 22.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de C* en el interior	95
<i>Figura 23.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de H* en el interior	96
<i>Figura 24.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de dureza	101
<i>Figura 25.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de resiliencia	103
<i>Figura 26.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de cohesividad	105
<i>Figura 27.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de elasticidad	107
<i>Figura 28.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de gomosidad	109
<i>Figura 29.</i> Gráfico de contorno y de trazas para la variable de masticabilidad	111
<i>Figura 30.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de Capacidad antioxidante	115
<i>Figura 31.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de Polifenoles	117
<i>Figura 32.</i> Análisis de correspondencia a los datos obtenidos por el CATA	123
<i>Figura 33.</i> Mapa sensorial de aceptabilidad de los brownies	124
<i>Figura 34.</i> Análisis de Importancia Relativa de Atributos Sensoriales en Brownies mediante Mean Drops (%)	126
<i>Figura 35.</i> Aceptabilidad de los brownies	127
<i>Figura 36.</i> Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de aceptabilidad	129
<i>Figura 37.</i> Gráfico de contorno de deseabilidad	130
<i>Figura 38.</i> Gráfico de superficie de deseabilidad	131

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. <i>Principales variedades, procedencia y características de las variedades de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) por países</i>	31
Tabla 2. <i>Composición química del tarwi y otras leguminosas (en base seca)</i>	32
Tabla 3. <i>Composición nutricional de lenteja, arveja y frijol de palo (g/100 de materia seca)</i>	35
Tabla 4. <i>Métodos acuosos para desamargado del grano de tarwi. Resultados de proteína y alcaloides</i>	45
Tabla 5. <i>Diseño de experimentos con tres componentes</i>	49
Tabla 6. <i>Composición fisicoquímica (Pérdida de peso, pH, acidez, humedad, Aw, ceniza, proteína. Grasa y fibra)</i>	60
Tabla 7. <i>Propiedades colorimétricas mediante el sistema CIELab (L, a, b, c, h)</i>	81
Tabla 8. <i>Análisis del perfil de textura</i>	99
Tabla 9. <i>Compuestos bioactivos (Capacidad antioxidante y polifenoles)</i>	113
Tabla 10. <i>Porcentaje del género de los consumidores</i>	118
Tabla 11. <i>Edad de los consumidores</i>	118
Tabla 12. <i>Método CATA de los brownies</i>	121
Tabla 13. <i>Modelamiento estadístico y los coeficientes para cada factor en la influencia de la composición fisicoquímica</i>	133
Tabla 14. <i>Modelamiento estadístico y los coeficientes para cada factor en la influencia de los parámetros colorimétricos de la corteza (cor) y del interior (int)</i>	136
Tabla 15. <i>Modelamiento estadístico y los coeficientes para cada factor en la influencia de los análisis del perfil de textura</i>	138
Tabla 16. <i>Modelamiento estadístico de los compuestos bioactivos</i>	140
Tabla 17. <i>Modelamiento estadístico de la aceptabilidad</i>	141
Tabla 18. <i>Parámetros óptimos del brownie</i>	142

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.....	161
Anexo 2. Metodologías oficiales de la AOAC de análisis fisicoquímicos de la harina de tarwi y lenteja	162
Anexo 3. Formato de evaluación sensorial CATA para el brownie.....	165
Anexo 4. Proceso de elaboración de harina de tarwi y lentejas germinadas	166
Anexo 5. Tratamiento de los brownies (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8)	167
Anexo 6. Análisis fisicoquímicos de harinas y brownies.....	168
Anexo 7. Evaluación sensorial de panelistas.....	169

RESUMEN

Los productos de panificación enriquecidos con ingredientes funcionales representan una alternativa en mejora de la calidad nutricional de los alimentos. Este estudio evaluó brownies elaborados y sustituidos parcialmente de harina de trigo por harinas germinadas de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*), con el objetivo de determinar su calidad nutricional y sensorial. Se analizaron propiedades fisicoquímicas (humedad, actividad de agua, proteína, fibra), capacidad antioxidante (polifenoles y actividad por ABTS/DPPH), perfil de textura (TPA) y aceptabilidad sensorial (escala hedónica y CATA) en ocho formulaciones con diferentes proporciones de harinas (30–50% de sustitución). Los resultados mostraron que las harinas germinadas incrementaron significativamente el contenido de proteína (hasta 10,57%) y fibra (21,13%), así como la capacidad antioxidante (612,6 $\mu\text{mol ET/g}$ en T8). Sin embargo, su incorporación afectó propiedades tecnológicas, como textura (dureza: 738,84 N en T4) y humedad (17,53% en T3). Sensorialmente, la formulación con 18,2% tarwi y 13,6% lenteja germinada obtuvo mayor aceptación (8/9 puntos), asociada a atributos positivos como brillo en la corteza y suavidad. Se concluye que la sustitución parcial (30–35%) con harinas germinadas mejora el perfil nutricional de los brownies. Futuras investigaciones podrían explorar métodos para reducir el amargor en formulaciones con mayor contenido de leguminosas, evaluar la estabilidad de compuestos bioactivos durante el almacenamiento y el escalado industrial.

Germinados, antioxidante, aceptabilidad, brownie, textura.

ABSTRACT

Baked goods enriched with functional ingredients represent an alternative for improving the nutritional quality of foods. This study evaluated brownies made with partial replacement of wheat flour with sprouted tarwi (*Lupinus mutabilis*) and lentil (*Lens culinaris*) flours, with the aim of determining their nutritional and sensory quality. Physicochemical properties (moisture, water activity, protein, fiber), antioxidant capacity (polyphenols and ABTS/DPPH activity), texture profile (TPA), and sensory acceptability (hedonic scale and CATA) were analyzed in eight formulations with different proportions of flours (30–50% substitution). The results showed that sprouted flours significantly increased the protein (up to 10.57%) and fiber (21.13%) contents, as well as the antioxidant capacity (612.6 $\mu\text{mol TE/g}$ at T8). However, its incorporation affected technological properties, such as texture (hardness: 738.84 N in T4) and moisture content (17.53% in T3). Sensorially, the formulation with 18.2% tarwi and 13.6% sprouted lentils was most widely accepted (8/9 points), associated with positive attributes such as a glossy crust and softness. It is concluded that partial substitution (30–35%) with sprouted flours improves the nutritional profile of the brownies. Future research should explore methods to reduce bitterness in formulations with higher legume content, evaluate the stability of bioactive compounds during storage, and study their industrial scaling.

Sprouts, antioxidant, acceptability, brownie, texture.

INTRODUCCION

En la actualidad, la salud y sostenibilidad de alimentos son de gran prioridad, por ello estamos en la búsqueda de alimentos más saludables, incorporando ingredientes alternativos en elaboración de productos tradicionales, que no solo satisfagan los aspectos sensoriales tradicionales, sino que también aporten beneficios nutricionales y funcionales. En este contexto, la reformulación de productos de repostería, como los brownies, surge como una estrategia prometedora para combinar indulgencia y salud.

Entre las alternativas con gran potencial se encuentran los germinados de leguminosas, como el tarwi (*Lupinus mutabilis*) y la lenteja (*Lens culinaris*), conocidos por su perfil nutricional superior en comparación con sus formas secas. El proceso de germinación incrementa la biodisponibilidad de proteínas, aminoácidos esenciales, vitaminas (especialmente del complejo B y C), minerales (hierro, zinc y calcio) y compuestos bioactivos, mientras reduce antinutrientes como los inhibidores de tripsina y los fitatos. Además, su contenido de fibra dietética y bajo índice glucémico los convierte en ingredientes ideales para el desarrollo de alimentos funcionales.

Desde una perspectiva tecnológica, la incorporación de germinados en la repostería presenta desafíos a considerar. Estudios mencionan que los germinados de leguminosas tienen el potencial de funcionar como texturizantes, pudiendo contribuir a una miga más húmeda y tierna, propiedades muy apreciadas en productos de repostería como los brownies.

Además de sus aportes nutricionales, esta investigación contribuye a la sostenibilidad de los alimentos a partir de ingredientes locales, de bajo costo, pero alto valor nutricional. En un contexto de creciente preocupación por la seguridad y la

soberanía alimentaria, la formulación de productos que incorporan materias primas autóctonas como el tarwi es especialmente relevante para las economías regionales de los Andes.

El brownie, un producto aceptado a nivel internacional, presenta un elevado contenido de energía, en relación con las harinas, azúcares y grasas que se emplean. La reformulación del brownie mediante la sustitución parcial de harinas por productos germinados de tarwi o lenteja, favorecerá no sólo el enriquecimiento del brownie, mejorará su aspecto nutricional, aumentando las proteínas, la fibra, los micronutrientes, entre otros, además incrementaría algunas características sensoriales, como la textura, la humedad y el perfil de sabor. Sin embargo, es fundamental evaluar el equilibrio entre el enriquecimiento nutricional y la aceptabilidad del producto por el consumidor, puesto que modificaciones de la fórmula para la mejora de la composición nutricional pueden afectar determinadas características importantes del brownie como son el sabor, el color y la untuosidad.

Esta investigación busca evaluar el impacto de la sustitución con germinados de tarwi y lenteja en la calidad nutricional y sensorial de un brownie, contribuyendo así a la generación de conocimiento sobre el uso de ingredientes subutilizados en la repostería funcional. Además, el estudio promueve la valorización del tarwi, un cultivo andino con alto potencial agroindustrial pero aún poco explotado, lo que podría impulsar su cadena de valor y favorecer la seguridad alimentaria en regiones donde su consumo es tradicional. Los resultados obtenidos sentarán las bases para desarrollar productos innovadores que respondan a las actuales demandas de alimentación saludable, sin sacrificar el placer sensorial asociado a los alimentos de consumo habitual.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la realidad problemática

En la actualidad, la preocupación por la salud y la nutrición de la población está en constante aumento debido a las crecientes tasas de enfermedades relacionadas con la dieta poco saludable. Los alimentos procesados, altos en azúcares refinados y grasas saturadas, han llevado a un aumento en la prevalencia de la obesidad, la diabetes tipo 2 y otros problemas de salud. Además, se ha vuelto evidente que la falta de consumo de proteínas de alta calidad y nutrientes esenciales es un problema importante en la dieta de muchas personas. En el Perú, existen lupinos andinos caracterizados por ser ricos en proteínas, lípidos y compuestos biológicamente activos (Córdova-Ramos et al., 2020; Thambiraj et al., 2018). La demanda del consumo de esta leguminosa es reducida, y a pesar de ser un alimento nutritivo, no se aprovecha en el diseño de productos alimentarios debido a sus características sensoriales; ya que el ligero sabor amargo no es tan agradable al paladar, debido a la presencia de los alcaloides (Villacrés et al., 2008), limitando su uso en la elaboración de productos alimentarios.

En esa circunstancia, existe una creciente necesidad de ofrecer opciones más saludables y nutritivas en productos de panadería y repostería, como los brownies, que si bien gozan de gran popularidad, suelen carecer de valor nutricional. En este contexto, los germinados de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) se destacan como fuentes naturales de proteínas, fibra y otros nutrientes esenciales, lo que los convierte en ingredientes prometedores para enriquecer el perfil nutricional de estos productos.

Sin embargo, la incorporación de estos germinados en sustitución de ingredientes tradicionales representa un desafío importante, especialmente en lo que respecta a las características sensoriales del producto final. Dado que los consumidores actuales son

cada vez más exigentes con respecto al sabor, la textura y la apariencia de los alimentos, cualquier modificación en estas cualidades podría afectar negativamente la aceptación de los brownies. Por lo tanto, es crucial abordar la situación problema de cómo lograr un equilibrio óptimo entre la calidad nutricional y la calidad sensorial en la formulación de brownies sustituidos con germinados de tarwi y lenteja. Dentro de los procesos tecnológicos que mejoran la calidad del producto, está la germinación de granos, que incrementa el valor nutricional. Diversos estudios han evidenciado que el proceso de germinación incrementa el contenido proteico, fibra dietaria total, así como de compuestos fenólicos libres y asociados (Perales-Sánchez et al., 2014; Paucar-Menacho et al., 2017). Asimismo, durante este proceso se reduce la presencia de compuestos antinutricionales que se encuentran en los granos, lo que favorece una mayor disponibilidad de vitaminas y minerales.

Este proyecto se propone como una respuesta a esta situación problemática, con el objetivo de desarrollar una receta de brownies que combine los beneficios nutricionales de los germinados de tarwi y lenteja con la satisfacción sensorial de un brownie tradicional, proporcionando así a los consumidores una opción más saludable y sabrosa en su dieta cotidiana.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

¿Cuál será la calidad nutricional y sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada?

1.2.2. Problemas específicos:

- ¿Cuál será la influencia del brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada sobre las propiedades fisicoquímicas?
- ¿Cómo influirá el brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada sobre la capacidad antioxidante?
- ¿Cuál será la aceptabilidad sensorial del brownie sustituido harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general

Determinar la calidad nutricional y sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada

1.3.2. Objetivos específicos

- Analizar las propiedades fisicoquímicas del brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada
- Cuantificar la capacidad antioxidante del brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada
- Evaluar la aceptabilidad sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada

1.4. Justificación de la Investigación

La incorporación de opciones más saludables en productos panificados tradicionales puede contribuir a prevenir enfermedades y fomentar un estilo de vida más equilibrado. Una alternativa viable la representan las leguminosas como el tarwi, que destaca por su elevado valor nutricional y energético, llegando incluso a igualar o destacar más que otras materias primas utilizadas en la industria de alimentos, como la soya o el frijol (Jacobsen y Mujica, 2006). Además, el tarwi contiene compuestos bioactivos, entre ellos antioxidantes y fenoles, dentro de los cuales se encuentran flavonas e isoflavonas (Ranilla et al., 2009; Czubinski et al., 2019). Por su parte, la lenteja es considerada una leguminosa proteaginoso gracias a su alto contenido de proteínas y su nivel bajo de grasas. Asimismo, es una fuente importante de vitaminas como riboflavina y piridoxina, y minerales como fósforo, hierro y zinc. A estos nutrientes se suman componentes como polifenoles, fibra soluble, α -galactósidos e isoflavonas, que le confieren características propias de un alimento funcional (Andrade, 2010).

La sustitución de ingredientes tradicionales en los brownies por germinados de tarwi y lenteja permitirá diversificar las fuentes de proteínas en la dieta. Estos ingredientes son ricos en proteínas de alta calidad y pueden ayudar a abordar la deficiencia de proteínas en muchas dietas. Además, se pueden utilizar las legumbres como ingredientes en los alimentos para proporcionar características funcionales, como espesantes, gelificantes o retenedores de agua, principalmente debido a los carbohidratos y las proteínas (Moser et al., 2020). El proceso de germinación promueve la formación de nuevos compuestos funcionales y nutricionales, a la vez que disminuye los factores antinutricionales como el ácido fítico y los inhibidores de la tripsina, a su vez este proceso incrementa el contenido de ciertas vitaminas (Tiwari et al., 2011). Por otro lado, la producción de tarwi y lenteja resulta más sostenible en comparación con la de ingredientes de origen animal, lo que

favorece un menor impacto ambiental por parte de la industria alimentaria. Promover el uso de estos ingredientes en productos cotidianos como los brownies puede fomentar prácticas más sostenibles en la cadena alimentaria.

La educación alimentaria y la conciencia sobre los ingredientes y la calidad nutricional de los alimentos están en aumento. Este proyecto contribuirá a la educación del consumidor al destacar los beneficios de los germinados de tarwi y lenteja en la dieta diaria. Debido a que existe una demanda creciente de alimentos que sean al mismo tiempo saludables y deliciosos. Los consumidores buscan opciones que les permitan disfrutar de sus comidas sin comprometer su salud. El desarrollo de brownies que cumplan con esta demanda puede satisfacer a un mercado en crecimiento. La investigación y desarrollo de alimentos innovadores es esencial para la evolución de la industria alimentaria. Este proyecto representa una oportunidad para explorar nuevas técnicas y formulaciones que puedan aplicarse a otros productos, promoviendo así la innovación en el sector.

Por ende, el presente trabajo de investigación tiene como finalidad la aplicación de la germinación de leguminosas para desarrollar un producto como el brownie, como alternativa para incrementar su valor nutricional y sensorial.

1.5. Delimitaciones del estudio

El estudio se realizó con consumidores de la ciudad de Barranca- Lima.

CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

El presente estudio se enmarca en la evaluación de la calidad nutricional, sensorial, fisicoquímicas y de compuestos bioactivos de brownies elaborados con sustitución de harinas de semillas de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada. En este contexto, Jiménez (2022) evaluó las propiedades tecnológicas, nutricionales y la aceptabilidad de la semilla de tarwi (*Lupinus mutabilis*) germinada con y sin brotes, en la cual se abordaron aspectos como la solubilidad (SA), el hinchamiento (CH), la adsorción de aceite (CAAC), la capacidad de absorción de agua (CAA) y la retención de agua (CRA), además de realizar un análisis proximal para evaluar los valores nutricionales, así como la digestibilidad de la proteína in vitro. También se incluyó un análisis sensorial centrado en la aceptación de la apariencia, sabor y textura de las semillas germinadas.

Se utilizó un proceso de germinado de las semillas de tarwi durante 4 y 5 días, evaluando ambas condiciones en sus presentaciones brotadas y no brotadas. Los resultados indicaron una modificación significativa en las propiedades tecnológicas, destacando una reducción en la solubilidad, la retención de agua y la adsorción de aceite, mientras que el hinchamiento y la capacidad de absorción de agua mostraron un incremento. No obstante, la interacción entre el tiempo de germinado y la presencia de brotes no tuvo un impacto significativo ($p>0,05$) sobre estas propiedades. En cuanto a la composición nutricional, se observó una mejora en el contenido de proteína y en la digestibilidad in vitro, junto con un aumento en los niveles de grasa y fibra cruda. Por otro lado, se registraron efectos opuestos sobre los contenidos de carbohidratos y ceniza. En términos sensoriales, las semillas germinadas

presentaron una apariencia de color blanco hueso, con un sabor característico, ligeramente a nuez, y una textura suave. Este estudio sienta un precedente importante al evidenciar las modificaciones en las propiedades funcionales y nutricionales del tarwi germinado, lo cual abre la puerta para su inclusión en formulaciones de productos innovadores, como los brownies elaborados con harinas germinadas de tarwi y lentejas. Los resultados obtenidos pueden ser fundamentales para la optimización de estas harinas como ingredientes funcionales en productos de panadería, mejorando tanto sus características nutricionales como sensoriales.

2.2. Investigaciones internacionales

Insuasti y López (2022) investigaron el empleo de harina de pulpa de café (HPC) en la fabricación de brownies, evaluando sus efectos en las propiedades fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales del producto. Se elaboró cuatro formulaciones de brownies, sustituidos parcialmente de harina de trigo por HPC en proporciones de 30%, 40% y 50%. Esta última se utilizó para crear tres nuevas formulaciones con reducción calórica, mediante la disminución de grasas y azúcares. La HPC presentó 6,23% de humedad, 48,55% de carbohidratos, 8,84% de proteínas, 2,60% de grasas, 7,61% de cenizas y 25,86% de fibra cruda, con 391,95 Kcal por cada 100 g. Los resultados mostraron que aumentar el HPC mejoraba la aceptación, la textura y el color de los brownies. Las formulaciones con reducción de grasa y azúcar también fueron bien aceptadas, y los brownies con 50% de HPC y reducción de azúcares contenían 15,60 g de fibra y 6,67 g de proteína por porción de 55 g.

En su investigación Guardianelli et al. (2020) estudiaron cómo las semillas germinadas de amaranto afectan su composición, perfil de aminoácidos y ácidos grasos, cuya finalidad fue analizar el potencial para la producción de panes funcionales

a base de harina de trigo. Para ello, se sometieron las semillas a un proceso de germinación a 30 °C durante 0, 18 y 24 horas, y se realizaron diversos análisis para determinar el contenido de proteínas, lípidos, cenizas, humedad, fibra dietética, carbohidratos solubles en agua y almidón. Además, se analizaron los perfiles de ácidos grasos, aminoácidos y proteínas mediante electroforesis. Los resultados mostraron un incremento en los niveles de cenizas y proteínas a medida que avanzaba la germinación, lo cual podría atribuirse a la activación enzimática. También aumentaron los carbohidratos solubles en agua y disminuyó el almidón, lo que sugiere hidrólisis del almidón y/o gluconeogénesis. Además, los lípidos disminuyeron del 7.14% al 5.86%, y hubo cambios en las proteínas globulinas. La harina de amaranto germinada por 18 horas presentó una mejora en la proporción de lisina y en el contenido de ácidos grasos esenciales, como el linoleico y linolénico, lo que dio como resultado una baja relación $\omega 6/\omega 3$. Estos cambios reflejan una mejora significativa en el perfil nutricional del amaranto germinado, posicionándolo como un ingrediente de alto valor nutricional.

Asimismo, Selvakumaran et al. (2019) estudiaron el efecto del puré de camote anaranjado (OSP) en diferentes concentraciones (0%, 25%, 50% y 75%) sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de los brownies. Al sustituir harina de trigo por OSP, se evidenció un incremento significativo en la fibra dietética total, siendo más alto en los brownies con 75% de OSP (6,41%) y 50% de OSP (5,13%) en comparación con el control (1,70%). Además, la humedad, la grasa y el volumen específico aumentaron a medida que se incrementaba el contenido de OSP. Con respecto al color de los brownies hubo una reducción en la luminosidad (L^*), enrojecimiento (a^*) y mayor amarillez (b^*). La incorporación de OSP disminuyó la dureza, adhesividad, gomosidad, cohesión y masticabilidad, especialmente en los

brownies con 50% de OSP, aunque no hubo diferencias significativas con los brownies que contenían un 75% de OSP. La elasticidad y resiliencia se vieron más afectadas por mayores cantidades de OSP. A nivel sensorial, la apariencia y el color de los brownies enriquecidos con fibra fueron similares a los brownies de control, pero los de 50% y 75% de OSP tuvieron una mejor aceptación en textura, sabor y aceptabilidad general. Reemplazar hasta el 75% de la harina por OSP es una opción efectiva para aumentar la fibra en los brownies sin afectar negativamente su apariencia y mejorando ciertos atributos sensoriales.

Medina et al. (2018) evaluaron brownies sin gluten enriquecidos con leguminosas cocidas (frijol pinto, alubia, garbanzo y lenteja) en valor nutricional, capacidad antioxidante e inhibición de la enzima α -glucosidasa. Se prepararon 300 g de cada tipo de leguminosa y se dividieron en porciones de 100 g. Los brownies de leguminosas cocidas mostraron un mejor valor nutricional que los comerciales, con niveles de proteínas entre 6.2% a 6.9%, lípidos de 1.6% a 4.2%, fibra soluble de 1.2% a 5.8% y fibra insoluble de 11.7% a 21.5%. También contenían ácidos grasos linolénico y linoleico y minerales. Luego, se analizó su contenido nutricional, y se analizó el contenido de fenoles totales, flavonoides, capacidad antioxidante y el potencial de inhibición de la enzima α -glucosidasa en los extractos etanólicos tanto libres como ligados. Los niveles de fenoles totales y flavonoides variaban según la leguminosa utilizada en la preparación de los brownies, así como la fracción que se analizaba. En los brownies de alubia la capacidad antioxidante fue mayor, mientras que los extractos de lenteja (fracción libre) y garbanzo (fracción ligada) fueron los más efectivos para inhibir α -glucosidasa. Los brownies de lenteja fueron los más aceptados sensorialmente.

Gil et al. (2014) analizaron las harinas de lenteja (*Lens esculenta*, variedad verde) germinadas y no germinadas, centrando su estudio en el contenido de riboflavina, proteínas, extracto etéreo y en sus propiedades funcionales. Para la determinación de la riboflavina, se empleó una extracción con metanol acuoso asistida por ultrasonido, seguida de análisis mediante HPLC. Las proteínas y el extracto etéreo se cuantificaron utilizando métodos oficiales, mientras que las propiedades funcionales como la absorción y retención de agua, el hinchamiento y la solubilidad se evaluaron mediante procedimientos estandarizados. Los resultados evidenciaron un incremento significativo en el contenido de riboflavina en las harinas germinadas, con incrementos superiores al 100 %, lo que demuestra que la germinación potencia este nutriente. Asimismo, se detectaron variaciones en las propiedades funcionales, probablemente asociadas a la hidrólisis enzimática y al daño parcial del almidón. En conjunto, estos hallazgos confirman que la germinación es un método eficaz para enriquecer las harinas con compuestos bioactivos y mejorar sus características funcionales, lo que las convierte en ingredientes prometedores para el desarrollo de alimentos funcionales.

2.3. Investigaciones nacionales

Arenas (2022) investigó la influencia de la germinación en la composición químico-proximal, bioactividad, minerales y propiedades térmicas de lenteja, arveja y frijol de palo. Tras germinar las semillas y elaborar harinas de ambas variantes (germinadas y no germinadas), se realizaron análisis de composición proximal, fenoles totales, capacidad antioxidante, minerales y propiedades térmicas. Los resultados mostraron que la germinación aumentó el contenido de proteínas y grasa en la lenteja, mientras que en fibra y ceniza tuvo mayor efecto en la arveja. Los fenoles totales

aumentaron más en la arveja (291,4%), seguido del frijol de palo (165%) y la lenteja (67,5%). La germinación también incrementó la capacidad antioxidante, siendo más efectiva en el frijol de palo para inhibir los radicales DPPH (28,5%) y ABTS (52,4%). En cuanto a minerales, la arveja germinada fue más rica en macroelementos (K, Na, Mg), mientras que la lenteja germinada destacó en microelementos (Fe, Mn). Finalmente, la germinación aumentó la temperatura de gelatinización, pero redujo las entalpías, especialmente en la lenteja ($0,37 \pm 0,04$ J/g).

Castillo (2021) formuló productos utilizando harina de granos germinados de quinua (GQG) y harina de granos germinados de cañihua (GCG) para aumentar los compuestos bioactivos como ORAC y TPC. Se empleó un diseño de mezcla simplex con centroide para determinar la fórmula óptima. Se elaboraron pan de molde y galletas sustituyendo harina de trigo (HT) con GQG y GCG en diferentes proporciones, realizando 14 experimentos. Los resultados evidenciaron que la germinación de los granos aumentó con gran significancia los compuestos bioactivos en los productos, evidenciando un mayor valor nutricional y potencial antioxidante en comparación con los productos de control.

Rada (2021) elaboró fideos utilizando harina de frijol ucayalino germinado (HFUG) como sustituto parcial de la harina de trigo (HT). Se realizaron cinco formulaciones con distintas proporciones de HFUG: T0 (100% HT), T1 (5% HFUG), T2 (10% HFUG), T3 (15% HFUG), y T4 (20% HFUG). Se evaluaron las características fisicoquímicas, reológicas y sensoriales de las mezclas. Los resultados mostraron que la mejor formulación fue T4 (20% HFUG y 80% HT), con un aumento en proteínas (19.70%), fibra (0.75%) y cenizas (2.28%), y una reducción en grasa (0.62%) y carbohidratos (67%). Las pruebas reológicas y amilográficas confirmaron que todos los tratamientos cumplieron con los parámetros adecuados para la

elaboración de fideos. En la evaluación sensorial, el tratamiento T4 fue el más aceptado, con diferencias significativas en color, sabor, firmeza, elasticidad, adhesividad y aceptabilidad ($p < 0.05$).

Estrada (2019) estudió brownies elaborados con harina de dos variedades de quinua, Altiplano y Salcedo, sustituyendo la harina de trigo en diferentes proporciones (25%, 35%, 45%, y 100%). Utilizó un diseño experimental factorial (AxB), con 8 tratamientos y un grupo control sin sustitución de harina de trigo. Los resultados evidenciaron diferencias significativas en la composición nutricional entre las muestras, con mayor contenido de proteína, fibra y carbohidratos en los brownies con quinua. También se observó un aumento en la capacidad antioxidante al incrementar la proporción de harina de quinua. En cuanto al análisis de color, se redujeron la luminosidad y el enrojecimiento, mientras que aumentó el amarillamiento. El perfil de textura indicó que el control fue el más resistente al corte, y se encontraron diferencias en resiliencia, elasticidad, gomosidad y masticabilidad. La evaluación sensorial describió los brownies como suaves, húmedos, arenosos, dulces, amargo, sabor chocolate, aroma a chocolate y un color marrón, siendo los más aceptados el grupo control y la muestra del Altiplano.

López y Rosas (2014) demostraron que, para inactivar estas lectinas, se pueden aplicar procesos de germinación y cocción (a presión atmosférica y en autoclave), seguidos de un secado por aire caliente. La actividad hemaglutinante de las lectinas, responsable de su efecto antinutritivo, se midió mediante la aglutinación de glóbulos rojos y se expresó en Unidades Hemaglutinantes (U.H.). En su estudio, la germinación durante 7 días a 50 °C eliminó completamente la actividad hemaglutinante (0 U.H.), mientras que la cocción a presión atmosférica redujo la actividad a 5 U.H. en 30 minutos y secado a 70 °C, y la cocción en autoclave la eliminó por completo en 12

minutos con secado a 70 °C. Estos resultados sugieren que un mayor tiempo de germinación y cocción, junto con temperaturas de secado adecuadas, contribuyen a la desnaturalización de las lectinas, disminuyendo su actividad y, por lo tanto, inhibiendo su toxicidad.

2.3.1. Bases teóricas

2.3.1.1. Origen del tarwi

El tarwi o chocho (*Lupinus mutabilis* Sweet) es una leguminosa originaria de los Andes sudamericanos, donde se encuentra desde altitudes de 1500 m.s.n.m. hasta 3800 m.s.n.m. (Tapia, 1997; Enriquez, 2015; Villacrés, 2008). Su distribución geográfica incluye países como Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile y Argentina. Las poblaciones andinas conocen y consumen esta planta desde al menos el año 500 a.C. Actualmente, esta especie se destaca a nivel mundial como uno de los principales cultivos nativos debido a su elevado contenido de proteínas y aceites (Repo-Carrasco, 1992).

2.3.1.2. Taxonomía del tarwi

Según el estudio realizado por (Zavaleta, 2018), la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, clasifica taxonómicamente:

Reino: Vegetal
Subreino: Fanerogamae
División: Spermatophytas
Clase: Dicotyledoneae
Orden: Rosales
Familia: Fabaceae

Subfamilia: Faboideae

Tribu: Genisteae

Género: *Lupinus*

Especie: *Lupinus mutabilis* Sweet

2.3.1.3. Variedades del tarwi

La Tabla 1 presenta las variedades más representativas de Perú, Bolivia, Ecuador y Chile. Asimismo, en la *Figura 1* se muestran algunos genotipos nativos del altiplano peruano (Jacobsen y Mujica, 2006)



Figura 1. Genotipos nativos de tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) del altiplano peruano.

Tabla 1. *Principales variedades, procedencia y características de las variedades de tarwi (Lupinus mutabilis Sweet) por países*

País de procedencia	Nombre de la variedad	Localidad de selección	Institución	Característica principal
Perú	Cusco	Kayra-Cusco	CICA-UNSAAC	Flor blanca
Perú	Carlos Ochoa	Kayra-Cusco	CICA-CUSCO	Alto rendimiento
Perú	Fortunato Herrera	Kayra-Cusco	CICA-CUSCO	Alto rendimiento
Perú	Kayra	E.E. Andenes	INIA-CUSCO	Alto rendimiento
Perú	Huamachuco	E.E. Baños del Inca	INIA-CAJAMARCA	Tolerante a antracnosis, tardía
Perú	Alta gracia	E.E. Santa Ana	INIA-Huancayo	Alto rendimiento
Perú	Puno	E.E. Ilpa	INIA-Puno	Precoz, planta pequeña
Perú	H6	E.E. Huancayo	Universidad Nacional del Centro del Perú	Buen rendimiento
Perú	SCG-9	Kayra- Cusco	CICA-UNSAAC	Alto rendimiento, color grano blanco
Perú	SCG-25	Kayra- Cusco	CICA-UNSAAC	Alto rendimiento, color grano blanco y negro
Perú	Sacacatani	E.E. Camacani	UNA-Puno	Alto rendimiento, tardío
Perú	SCG-1 al SCG-4	E.E. Camacani	UNA-Puno	Precoz
Perú	Andenes-80	E.E. Andenes-Cusco	INIA-CUSCO	Alto rendimiento
Perú	Yunguyo	E.E. Ilpa	INIA-PUNO	Alto rendimiento
Bolivia	Toralapa	E.E. Payrumani	INIAP-Cochabamba	Alto rendimiento, tardío
Bolivia	Carabuco	E.E. Payrumani	INIAP-Cochabamba	Alto rendimiento, tardío
Chile	Inti	E.E. Gorbea	Semillas Baer	Libre de alcaloides
Ecuador	INIAP-450-ANDINO	E.E. Santa Catalina	INIAP-Ecuador	Alto rendimiento
Ecuador	INIAP-451	Catalina	INIAP-Ecuador	Grano blanco

Fuente: (Jacobsen y Mujica, 2006).

2.3.1.4. Composición química del tarwi

Es ampliamente reconocido que el tarwi posee un alto contenido nutricional de proteínas y grasas, lo que respalda la promoción de un mayor consumo de esta leguminosa (Tapia, 1997). En la Tabla 2 se observa el contenido proteico supera a la soya en algunos casos, llegando a superar el 50%, en cuanto al contenido graso, es muy similar al de la soya (Santos et al., 1997). Estudios realizados en más de 300 genotipos distintos han demostrado que el contenido de proteínas varía entre un 41% y un 51%, mientras que el de aceite oscila entre el 14% y el 24% (Jacobsen y Mujica, 2006; Gross et al., 1988). Además, Hatzold et al., (1983) informan valores muy parecidos para las proteínas (que van del 37.7% al 49.7%) y las grasas (que oscilan entre el 12.8% y el 22.2%). Por otro lado, Cremer (1983) y Schoeneberger et al., (1982) afirman que la composición del tarwi es prácticamente equivalente a la de la soya, presentando un contenido en proteínas del 32% al 40% y un porcentaje de grasa entre el 17% y el 23%, en base a peso seco.

Tabla 2. *Composición química del tarwi y otras leguminosas (en base seca)*

Componente	Tarwi	Maní	Soya	Frijol	Lenteja
Proteína	51.1	27.0	40.0	24.5	26.5
Grasa	20.4	42.0	21.0	1.9	1.3
Carbohidratos	26.1	19.0	34.0	69.2	69.6
Ceniza	2.4	2.0	4.9	4.4	2.6

Ministerio de Salud - MINSA. Tablas peruanas de composición de alimentos (2009).
Badui Dergal S. Química de los alimentos (2006).

2.3.1.5. Origen de la lenteja

La lenteja es una planta que pertenece a la familia fabáceas o leguminosas que crece como hierba anual. Sus tallos, que son frágiles, se extienden hasta alcanzar una altura de 30 a 40 cm, presentan ramificaciones y estrías. Sus hojas

son alargadas, con estípulas lanceoladas, zarcillos apenas enrollados, y sus flores son de color blanco con venas moradas, ubicadas en pedúnculos axilares. Los frutos de la lenteja se desarrollan en vainas pequeñas que contienen dos o tres semillas marrones con forma de disco, que tienen un diámetro de aproximadamente medio centímetro (Johnson et al., 2013). Las lentejas se originaron en el suroeste asiático y, con el tiempo, se expandieron hacia la región mediterránea, desde donde llegaron a distintos países. Su cultivo en América es relativamente reciente, según lo señala Polo (2012). Estas leguminosas son valoradas en varias partes del mundo por su valor nutricional.



Figura 2. Lenteja

2.3.1.6. Taxonomía de la lenteja

Se muestra la taxonomía de la lenteja según (Machuca y Meyhuay, 2017)

Reino: Plantae
División: Magnoliopita
Familia: Fabaceae, Favoideae
Orden: Fabales
Género: Lens
Especie: *Lens culinaris L*

2.3.1.7. Composición química de la lenteja

La lenteja es considerada una de las legumbres más relevantes a nivel mundial, gracias a la alta calidad de sus componentes nutricionales, como se muestra en la Tabla 3. Popularmente conocida como la 'carne del hombre pobre', su bajo costo en comparación con la carne la convierte en una opción accesible y eficaz para complementar fuentes proteicas más costosas. Este grano vegetal contribuye significativamente al equilibrio de aminoácidos y micronutrientes en la dieta. El contenido proteico de las lentejas varía entre un 22% y un 32%, según la variedad. En términos de composición, predominan dos tipos de proteínas: las de almacenamiento y las metabólicas, que juntas constituyen cerca del 80% del total proteico en la semilla. De estas, entre el 31,8% y el 49,7% corresponde a albúminas, y entre el 26,2% y el 34,6% a globulinas (Joshi et al., 2017).

Además de su contenido proteico, las lentejas son ricas en diversas vitaminas, con un enfoque particular en la vitamina A, E y B, siendo la niacina (B3) y el ácido fólico (B9) especialmente notables debido a sus cantidades significativas. Caracterizada por su alto contenido de minerales como fósforo, hierro, zinc y potasio, además de otros presentes en menores cantidades (Valdivia & Ostos, 2020). La fibra presente en este grano ofrece múltiples beneficios para la salud, entre ellos un bajo índice glucémico y efectos protectores frente a enfermedades como el cáncer y las afecciones cardiovasculares, entre otros beneficios (Hefnawy, 2011).

Tabla 3. *Composición nutricional de lenteja, arveja y frijol de palo (g/100 de materia seca)*

Componente	Lenteja	Arveja	Frijol de palo
Proximal^a			
Humedad	12.4	10.1	13.4
Proteína	25.1	22.9	22.3
Grasa	0.7	2.4	1.7
Fibra	4.0	4.4	6.2
Ceniza	2.6	2.7	3.7
Carbohidratos	59.0	58.8	57.6
Minerales^{b,c}			
Calcio (Ca)	97.3	96.0	159.8
Sodio (Na)	12.7	14.1	19.7
Potasio (K)	1134.6	954	1290.0
Magnesio (Mg)	129	132	131.2
Hierro (Fe)	7.3	7.4	5.6
Manganeso (Mn)	1.3	2.9	1.8
Cobre (Cu)	1.0	0.5	0.9

Fuente: ^aKamboj & Nanda (2017); ^bJoshi et al. (2017); ^cSangronis & Machado (2007)

2.3.1.8. Los germinados

Según Pamplona (1995), los germinados poseen un alto valor nutricional, ya que durante la germinación la planta incrementa su concentración de vitaminas, minerales y antioxidantes. Esto los convierte en una fuente destacada de nutrientes primordiales como la vitamina C, vitamina K, hierro, magnesio y fibra dietética. Además, este proceso reduce la presencia de fitatos e inhibidores enzimáticos, lo que mejora la digestión y favorece una mejor absorción de nutrientes, resultando especialmente útil para personas con dificultades digestivas.

2.3.1.9. Fases de la germinación

La germinación se desarrolla en función del tiempo de absorción de agua por parte de la semilla (*Figura 3*). Al principio, la semilla seca experimenta una rápida absorción de agua (Fase I) hasta que todas sus estructuras y su contenido celular se hidratan por completo. A continuación, se presenta una fase de absorción de agua más limitada (Fase II), que se mantiene constante en semillas que no llegan a completar la germinación, como las inactivas o muertas. Posteriormente, en la Fase III, el aumento en la absorción de agua se vincula brevemente con la culminación de la germinación, aunque el agua absorbida en esta etapa es relativamente baja. Este ligero aumento en el contenido de agua es seguido por una mayor absorción, conforme las células de la radícula en desarrollo y, más adelante, las del resto de la plántula, se incrementan debido a la división mitótica y la expansión celular. Si bien el uso de estas Fases es conveniente para ilustrar los eventos que tienen lugar en la germinación de las semillas, en algunas especies no están tan bien definidos; por ejemplo, en semillas más grandes, la absorción de agua en los cotiledones cargados de reserva puede continuar incluso después de la emergencia de la radícula. Además, las Fases no definen temporalmente los eventos metabólicos que ocurren dentro de la semilla en germinación, ya que estos son confluentes (Nonogaki et al., 2007).

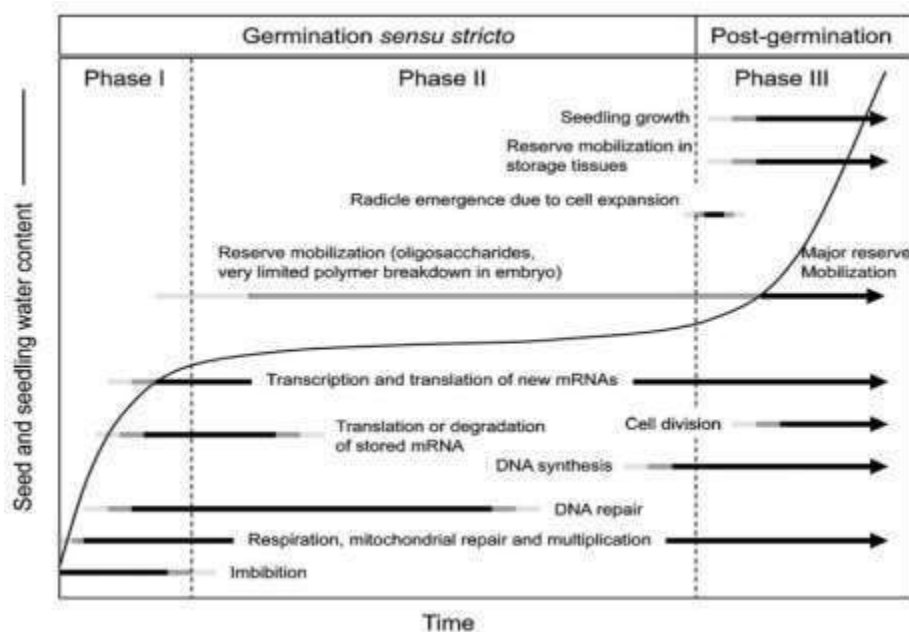


Figura 3. Evolución temporal de eventos físicos y metabólicos que ocurren durante la germinación (Fases I y II) y el crecimiento temprano de las plántulas (Fase III).

Modificado de Nonogaki et al., (2007) y (Bewley, 1997)

2.3.1.10. Factores externos que afectan la germinación

Para que una semilla germine, es necesario que se encuentre en un entorno con condiciones ambientales apropiadas para el proceso. Entre los factores esenciales se incluyen un suministro apropiado de agua, temperaturas y una composición de gases en el aire adecuada, además de luz para algunas semillas. Las necesidades específicas de estas condiciones pueden variar según la especie y la variedad, y están influenciadas tanto por las condiciones que existieron durante la formación de la semilla como por factores genéticos. Con frecuencia parece que existe alguna correlación entre los requisitos ambientales para la germinación y las condiciones ecológicas que ocurren en el hábitat de la planta y las semillas. (Nonogaki et al., 2007).

2.3.1.11. Brownie

Los brownies son un producto de repostería en forma de barra con sabor a chocolate, elaborado a partir de ingredientes esenciales como harina, huevos, mantequilla, chocolate y azúcar. (Selvakumaran et al., 2019)

2.3.1.12. Evaluación sensorial

Es la ciencia que se enfoca en evaluar las características organolépticas de un producto a través de los sentidos (Hernández, 2005).

2.3.1.13. Método CATA

La pregunta CATA presenta el formato de opción múltiple. Se le presenta a los evaluadores un listado de palabras y se les indica que seleccionen todas las que consideren apropiadas para describir un determinado producto, sin limitación en la cantidad de palabras que pueden seleccionar. En la pregunta CATA, la lista de términos para describir el producto suelen ser atributos sensoriales, pero también puede realizarse con términos de distinta naturaleza como respuestas emocionales, respuestas hedónicas, uso del producto o cualquier otro término que el consumidor pueda asociar con el producto (Ng et al. 2013, Jaeger et al. 2017, Ares et al. 2013, Parente et al. 2011, Piqueras-Fiszman et al. 2014, Gámbaro et al. 2017).

La pregunta CATA ha sido utilizada para describir una gran cantidad de productos como pan (Meyners, et al. 2013), vino (Schumaker, et al. 2018), helados (Dooley, et al. 2010), productos cárnicos (Henrique, et al. 2014), cremas faciales (Gámbaro, et al. 2017), yogur griego (Esmerino, et al. 2017). y queso untable (Torres, et al. 2017). Para realizar este método se tiene en cuenta lo siguiente:

a) Evaluación de las muestras

Los productos se presentan a los evaluadores de uno en uno, con números codificados de tres dígitos aleatorios, siguiendo un orden de presentación equilibrado u aleatorio para evitar el efecto de orden. El número de muestras que se evalúan en estudios con preguntas CATA oscila entre uno y doce según el estudio. El número de consumidores para la caracterización sensorial de productos suele variar de 50 a 100 (Ares, et al., 2014).

Cuando las preguntas CATA se utilizan para estudiar la percepción del consumidor o son utilizadas juntamente con la evaluación de la aceptabilidad, el número de consumidores apropiado es el habitual en este tipo de estudios (100-120).

b) Evaluación del producto ideal

Junto con la pregunta CATA, a menudo se incluye, además de una pregunta de aceptabilidad, una pregunta CATA adicional para describir las características sensoriales de un hipotético producto ideal. Esta iniciativa fue propuesta por Ares y colaboradores (2014) y permite identificar los atributos que determinan la aceptabilidad o rechazo del consumidor hacia el producto y las características del producto que maximizan la aceptabilidad a través del análisis de penalizaciones. Esta metodología es de aplicación para desarrollo y mejora de productos, ya que permite estudiar cómo mejorar un producto para satisfacer al consumidor. La pregunta CATA acerca del ideal se presenta comúnmente en último lugar después de que todas las muestras reales hayan sido evaluadas.

c) Análisis de correspondencia

Para obtener el mapa sensorial de las diferencias entre muestras de acuerdo con términos de la pregunta CATA se usa habitualmente el Análisis de Correspondencias (AC). Para construir el mapa, a partir de la tabla de contingencia la técnica AC estudia la asociación entre las variables términos y muestras, proyectando los datos de la tabla de contingencia en dimensiones ortogonales, que representan la mayor variabilidad posible de los datos experimentales y donde los puntos en el espacio se sitúan en función de las asociaciones de las variables de la tabla de contingencia. La técnica AC actúa de manera similar a como lo hace el Análisis de Componentes Principales (ACP), pero en este caso con datos de frecuencia (Meyners et al., 2013 y Abdi et al., 2010). Los cálculos del análisis AC clásico se basan habitualmente en las distancias x^2 , que tienen en cuenta todos los términos de la misma manera, aunque estos hayan sido seleccionados con poca frecuencia. Para minimizar la influencia de estos términos en la construcción del mapa, Meyners y colaboradores (2013) propusieron como alternativa a las distancias x^2 , el uso de la distancia de Hellinger. Además del Análisis de Correspondencia, también se puede utilizar el Análisis Factorial Múltiple (Multiple Factor Analysis-MFA) para obtener el mapa perceptual de las muestras, el cual concede el mismo peso a todas las variables, lo que hace que el mapa no esté regido solo por unos pocos atributos.

2.3.2. Bases filosóficas

2.3.2.1. Toxicidad de los alcaloides del tarwi

Los alcaloides son los compuestos causantes del sabor amargo y pueden provocar toxicidad anticolinérgica aguda, cuyos síntomas incluyen visión borrosa, dolor de cabeza, debilidad y náuseas (Daverio *et al.*, 2014). No obstante, la intoxicación por *Lupinus* sp. en humanos es poco frecuente y generalmente ocurre debido a la ingestión accidental de las semillas verdes o consumir agua que ha sido empleada en el proceso de desamargado (Luque y Gutiérrez, 1991).

Para que estos alcaloides quinolizidínicos causen intoxicación en los humanos, se requiere una dosis de 10-25 mg por kg de peso en niños y de 25-46 mg por kg de peso en adultos (Villacrés *et al.*, 2008). La toxicidad varía según el tipo de alcaloide presente, dado que la lupanina y la esparteína resultan más dañinas en comparación con la isolupanina, angustifolina y lupinina, mientras que la L-7-hidroxilupanina es diez veces menos tóxica que estas últimas (Kingham *et al.*, 1980)

2.3.2.2. Métodos de desamargado

Los métodos de desamargado permiten reducir o eliminar los alcaloides presentes en las semillas, sin alterar de manera significativa su valor nutricional. Esto facilita su uso en la nutrición humana con bajo riesgo de intoxicación y mayores beneficios para los seres humanos y para los animales (Rahma y Narasinga, 1984). Existen dos métodos principales para el desamargado: el primero se enfoca en el desarrollo de variedades dulces (Gross *et al.*, 1988) y el segundo en la implementación de tecnologías de desamargado (Cremer, 1983). Estos métodos incluyen procesos como hidratación, cocción, desamargado y lavado (Suca y Suca, 2015).

A. Hidratación

La fase inicial, también conocida como remojo, se realiza a temperatura ambiente con el propósito de preparar los granos, incrementando su contenido de agua y facilitando la extracción de alcaloides en etapas posteriores (Suca y Suca, 2015). Este proceso puede llevarse a cabo de dos maneras: en agua estática o en agua en circulación. En el primer caso, es posible controlar parámetros como la proporción entre materia prima y agua, así como el tiempo de hidratación. Por otro lado, el sistema de agua en circulación permite regular el caudal y la duración del remojo; sin embargo, debido a su baja reproducibilidad y elevado costo, su uso resulta poco práctico (Quispe, 2015).

B. Cocción

Esta etapa es fundamental en el proceso, ya que induce múltiples transformaciones en el grano que facilitan su procesamiento y la extracción de alcaloides. Entre estos cambios, se inactiva la capacidad germinativa del grano, se desnaturalizan las enzimas lipasa y lipoxigenasa, se eliminan microorganismos que podrían generar toxinas y descomponer nutrientes, y se coagulan las proteínas, lo que contribuye a minimizar pérdidas en la siguiente fase. Además, se incrementa la permeabilidad de la pared celular y de los tejidos, favoreciendo la lixiviación de alcaloides (Suca y Suca, 2015; Meneses et al., 1996). También se erradican compuestos como hemaglutininas, inhibidores de tripsina y glucósidos cianogénicos, aunque estos estén presentes en cantidades bajas (Ruiz, 1993). Los parámetros clave a controlar en esta fase incluyen la relación entre materia prima y agua, el tiempo de tratamiento, la adición de cal, la agitación y la cocción doble (Quispe, 2015).

La incorporación de cal contribuye a aumentar la permeabilidad de la cáscara, facilitando la liberación de alcaloides (Gross et al., 1983), aunque puede provocar una disminución en el contenido proteico (Sosa, 2000). Asimismo, el uso de sales o ácidos mejora la solubilidad de los alcaloides, pero también podría reducir el contenido de proteínas (Jiménez- Martínez et al., 2007).

C. Desamargado

Existen tres métodos para lograrlo: el biológico, el químico y el físico. De estos, el método físico es el más empleado en la actualidad, ya sea en lo doméstico como en lo comercial (Carvajal, 2013). Es fundamental seleccionar la técnica más apropiada, ya que debe ser lo bastante eficaz para erradicar los alcaloides. A continuación, se describen los tres procedimientos.

C.1. Método biológico

El método emplea microorganismos cultivados en medios sólidos o líquidos, los cuales son capaces de degradar alcaloides quinolizidínicos. Diversas especies de hongos y bacterias han demostrado esta habilidad, entre ellas *Rhizopus microsporus* var. *oligosporus* (Jiménez-Martínez et al., 2007; Ortega-David y Rodríguez-Stouvenel, 2013), *Xanthomonas oryzae*, *Gluconobacter cerinus*, *Acidovorax* sp. (Santana et al., 1996), *Pseudomonas* sp. (Hopper et al., 1991), así como *Lactobacillus acidophilus* y *Lactobacillus fermentum* (Camacho et al., 1991).

C.2. Método químico

Este método se fundamenta en la utilización de disolventes orgánicos para eliminar los alcaloides, logrando en simultaneo la extracción de aceites del grano de tarwi. En este sentido, el proceso de desamargado ocurre como un efecto colateral positivo del desengrasado. Se han utilizado distintos solventes para este fin, entre ellos hexano, una mezcla de agua y etanol (Ruiz, 1993), cloroformo (Carvajal, 2013), isopropanol y diclorometano (Frick et al., 2017).

C.3. Método físico

Este procedimiento es el más empleado y, en la antigüedad ha sido utilizado en la región andina para eliminar el sabor amargo de los granos de tarwi. El fundamento radica en la lixiviación mediante el uso de grandes volúmenes de agua, lo cual puede resultar poco eficiente desde una perspectiva económica. Sosa (2000) evaluó cuatro variantes de métodos acuosos para el desamargado del tarwi, diferenciados por el tiempo de tratamiento y la inclusión de cal, comparándolos en función de los niveles finales de proteína y alcaloides. La Tabla 4 presenta un resumen de estos métodos, sus etapas, los resultados obtenidos para cada parámetro analizado, así como los valores iniciales de proteínas y alcaloides en los granos.

Tabla 4. *Métodos acuosos para desamargado del grano de tarwi. Resultados de proteína y alcaloides.*

Grano de tarwi (<i>L. mutabilis</i>)		Proteína Inicial (43,07%)	Alcaloide Inicial (3,39%)	
Método	Etapas	Proteína final (%)	Alcaloide final (%)	
Tradicional	Remojo: 18h	20.3	0.03	
	Cocción: 1h con Cal			
	Lavado: 6 días			
Egipcio	Remojo: 18h	29.08	0.19	
	Cocción: 30 min			
	Lavado: 4 días			
Cuzco	Remojo: 18h	39.86	0.07	
	Cocción: 1h con Cal			
	Lavado: 1 día			
Cuzco modificado	Remojo: No efectuado	63.8	0.1	
	Cocción: 30 min con Cal			
	Lavado: 12h			

Fuente: modificado de Sosa (2000).

D. Lavado

Es la última etapa del proceso y, junto con el desamargado y, en ciertos casos, la incorporación de aditivos permite la eliminación de los alcaloides a través de un proceso conocido como lixiviación. En esta etapa, los alcaloides se disuelven en el medio líquido y son eliminados mediante recambios periódicos del solvente, generalmente a temperatura ambiente.

Es fundamental controlar parámetros como la proporción entre la materia prima y el agua, la frecuencia de los cambios de agua y la duración total del lavado (Quispe, 2015).

2.3.3. Definición de términos básicos

2.3.3.1. Alimentos germinados:

Estos son alimentos vivos y frescos, ricos en enzimas, minerales, oligoelementos y vitaminas. También contienen hormonas que resultan especialmente beneficiosas en etapas críticas como el crecimiento, la convalecencia, el agotamiento mental o estados depresivos. Además, son una fuente importante de proteínas, con propiedades desintoxicantes, revitalizantes y regeneradoras, que contribuyen tanto al mantenimiento como a la recuperación de la salud mediante la depuración del organismo (Dueñas, 2008).

2.3.3.2. Antioxidante:

Es una molécula capaz de retardar o prevenir la oxidación de otras sustancias. Este proceso implica la transferencia de electrones entre compuestos: la sustancia que acepta electrones se reduce, mientras que la que los dona se oxida. Durante estas reacciones, se forman radicales libres, compuestos altamente reactivos que pueden provocar daños en el organismo (Ramos et al., 2008).

2.3.3.3. Capacidad antioxidante:

Se define como la pérdida de electrones o átomos de hidrógeno, o la adición de oxígeno en una molécula. Este proceso es causado por un agente oxidante que, al interactuar con la molécula que oxida, experimenta una reducción (Shivakumar & Kumar, 2018).

2.3.3.4. Germinación

La germinación de una semilla es el periodo que comienza con la absorción de agua (imbibición) y culmina cuando el embrión emerge, atravesando los tejidos que lo envuelven (Nonogaki et al., 2010).

2.4. Hipótesis de investigación:

2.4.1. Hipótesis general:

El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada presenta una mejora significativa en su calidad nutricional y sensorial.

2.4.2. Hipótesis específicas:

El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada muestra diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas.

El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada exhibe una capacidad antioxidante significativamente debido a la presencia de compuestos bioactivos en los germinados de tarwi y lenteja.

El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada es sensorialmente aceptable y preferido por un grupo significativo de consumidores debido a su sabor, textura y apariencia.

2.4.3. Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES
Independiente: Harinas germinadas de tarwi y lenteja	Son productos alimentarios que se obtienen a partir de las semillas de tarwi y lenteja, después de un proceso de germinación controlada, secado y molienda.	Basado en el proceso productivo que involucra la selección, remojo, germinación, secado, molienda y envasado, obteniendo un producto alimentario con propiedades nutricionales mejoradas.	Formulaciones- Diseño de mezclas	Porcentaje de harinas de trigo (50-70%), tarwi (15-40%) y lenteja (10-30%)
Dependiente: Propiedades fisicoquímicas	Son las características de una sustancia o material que se relacionan con su composición química, estructura molecular y comportamiento físico en condiciones determinadas.	La medición y evaluación de éstas implican usar métodos y técnicas específicas para cuantificar y analizar las características físicas y químicas de una sustancia.	pH Humedad Acidez Ceniza Fibra Proteínas Grasa	% % % % % %
Capacidad antioxidante	Es la capacidad intrínseca de un compuesto, alimento o sustancia para neutralizar y reducir la actividad de los radicales libres y otros compuestos oxidantes en el cuerpo.	Ésta se puede medir mediante varios métodos y ensayos de laboratorio que evalúan la capacidad de una muestra para contrarrestar la acción de los radicales libres u otras especies oxidantes.	Actividad antioxidante total	mg eq de ácido gálico/g
Aceptabilidad sensorial	Grado de satisfacción del consumidor con respecto a las propiedades sensoriales del brownie.	Evaluación de la apariencia visual, el sabor, la textura, el olor y la satisfacción general del consumidor al probar los brownies.	Aceptabilidad	Grado de aceptabilidad con una escala hedónica de 9 puntos.

CAPITULO III. METODOLOGÍA

3.1. Diseño metodológico

El diseño es experimental (cuasi experimental) y de nivel explicativo

Se formuló y estandarizó el porcentaje de sustitución de harinas germinadas de lentejas y tarwi en la elaboración de un brownie, usando el Diseño de mezclas. Para el análisis estadístico de las propiedades fisicoquímicas, capacidad antioxidante y aceptabilidad sensorial se aplicó el Software R Project y Rstudio.

Los niveles de los componentes de la mezcla de harinas para la elaboración de brownies fueron: harina de trigo 50-70%, harina de tarwi germinada: 15-40% y harina de lenteja germinada: 10-30%, tal cual se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. *Diseño de experimentos con tres componentes*

Tratamiento	Variables Independientes (%) Componentes		
	H. TRIGO	H. TARWI G	H. LENTEJA G
1	50	30	20
2	59	22	19
3	50	40	10
4	70	20	10
5	50	20	30
6	62.5	15	22.5
7	70	20	10
8	60	30	10

3.2. Población y muestra

3.2.1. Población:

La población de la investigación se realizó con consumidores de la ciudad de Barranca-Lima, en la cual sus edades fueron entre 18-50 años.

3.2.2. Muestra

La investigación tuvo un muestreo no probabilístico por conveniencia y se llevó a cabo con 115 consumidores de la ciudad de Barranca, en la cual se brindó información necesaria para cumplir con el estudio. Además, todos los participantes consumieron brownies con una mínima frecuencia.

3.3. Técnicas de recolección de datos

3.3.1. Obtención de harinas de tarwi y lenteja germinada

A continuación, se describe cada operación del proceso de obtención de harinas de tarwi y lentejas germinadas para la elaboración del brownie (*Figura 3*).

- a) **Recepción:** Se recepcionó las materias primas (tarwi y lenteja) en recipientes para una mejor manipulación.
- b) **Selección:** Se seleccionó los granos, retirando todas las impurezas y granos no aptos para el proceso.
- c) **Pesado:** En una balanza se realizó el pesado correspondiente de las muestras de tarwi y lenteja.
- d) **Lavado y Desinfección:** Se lavó y desinfectó las muestras por separado en solución desinfectante.
- e) **Remojo:** Las muestras se colocaron en recipientes con determinada cantidad de agua y se colocaron en remojo por 24h.
- f) **Escurrido:** Transcurrido el tiempo de remojo, se escurrió las muestras.

- g) Germinación:** Las muestras fueron colocadas en bandejas de acero inoxidable y se dejó germinando por 6 días en un ambiente oscuro. Ambas muestras se les añadió agua con un pulverizador cada 12h.
- h) Cocción:** La cocción de los granos se realizó por 25 min
- i) Lavado:** Se enjuagó con agua hasta eliminar cualquier residuo o sabor indeseado.
- j) Descascarado:** Se procedió a eliminar los restos de cascara.
- k) Secado:** Las muestras fueron colocadas en una estufa de secado, a 60°C por 12h.
- l) Molienda:** La molienda de las muestras de tarwi y lenteja se realizaron en un molino de martillos.
- m) Tamizado:** Para alcanzar la granulometría deseada, las muestras de harina pasaron por un tamizador, en la cual se usó el tamiz N°50.
- n) Envasado:** Las harinas de tarwi y lentejas obtenidas se envasaron en condiciones adecuadas para preservar su calidad y frescura.

3.3.2. Elaboración de brownies

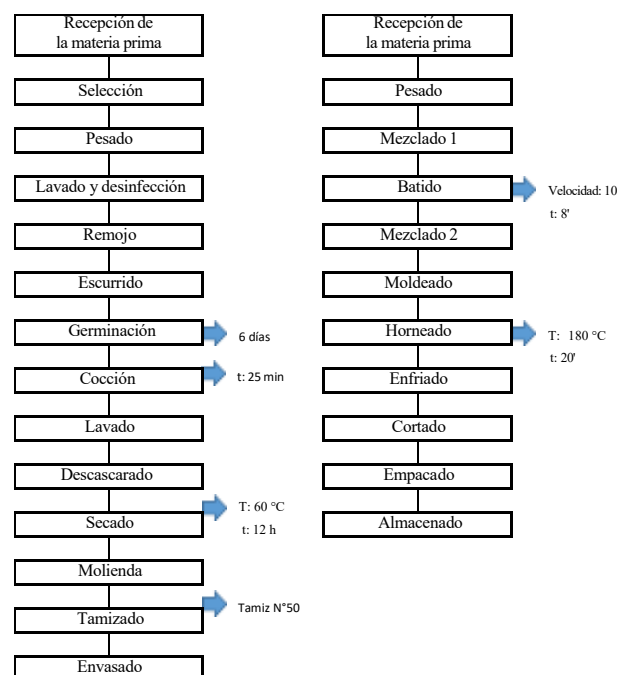


Figura 4. Esquema de harinas germinadas y elaboración de brownies

- a) **Recepción de la materia prima:** Se recepcionó las materias primas y luego fueron almacenadas para su posterior operación.
- b) **Pesado:** Se pesaron todos los insumos según corresponda a cada formulación de los tratamientos en estudio, tales como harina de trigo, harinas germinadas de lentejas y tarwi, mantequilla, azúcar, cacao en polvo, huevos y esencia de vainilla.
- c) **Mezclado 1:** Se mezcló los insumos según la formulación hasta que se homogenice.
- d) **Batido:** Se continuó la operación en la batidora, en la cual se añadió huevos, azúcar y esencia de vainilla. Esta operación se realizó a velocidad 10 por un tiempo de 8 minutos.
- e) **Mezclado 2:** Se incorporó a la mezcla las harinas previamente tamizadas y se continuó con el mezclado a una velocidad lenta por un tiempo de 1 minuto.
- f) **Moldeado:** La mezcla fue colocada en bandejas de acero inoxidable, y posterior a ello se colocó en coches del mismo material, dejando acondicionado para la siguiente operación.
- g) **Horneado:** Esta operación se realizó en un horno de convección forzada a una temperatura de 180°C y por 20 minutos.
- h) **Enfriado:** Terminado el tiempo de cocción, se retiraron los brownies del horno y se dejó reposar para que enfríen.
- i) **Cortado:** Se cortaron los brownies en cuadrados de 4cm x 4cm.
- j) **Empacado:** Los brownies fueron empacados y sellados en bolsas de polietileno de baja densidad y sellados.
- k) **Almacenado:** Se dejó las muestras almacenadas en un lugar seco, hasta realizar los análisis fisicoquímicos, sensoriales y de capacidad antioxidante.

3.3.3. Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de brownies

- a) **Análisis de acidez y pH:** La acidez se evaluó mediante titulación volumétrica, mientras que el pH se midió directamente utilizando un potenciómetro, siguiendo el método oficial establecido por la AOAC (2000).
- b) **Análisis de humedad:** Se realizó por el método de secado en horno (método AOAC 934.01, 2000).
- c) **Análisis de ceniza:** Se realizó por el método de incineración en seco (método AOAC 923.0/90, 2000).
- d) **Análisis de fibra cruda:** Se realizó por el método gravimétrico (método AOAC 991.41, 2000).
- e) **Análisis de proteínas:** Se realizó por el método de método Kjeldahl's (método AOAC 981.10, 2000).
- f) **Análisis de grasas:** Se realizó por el método Soxhlet (método AOAC 991.36, 2000).

3.3.4. Evaluación de la capacidad antioxidante

Extracción de las muestras:

La extracción de los antioxidantes y compuestos fenólicos presentes en las muestras fue realizada según la metodología sugerida por Pérez-Jiménez y Saura-Calixto (2005) con algunas modificaciones. Para ello, las muestras pulverizadas son tratadas con metanol/agua (50:50, v/v, pH 2, HCl), se empleó una relación solvente/sólido de 20 para todas las extracciones. Luego se agitan a temperatura ambiente en un mezclador rotatorio (Benchmark Scientific, NJ, USA) cubriendo las muestras con papel aluminio por un tiempo de 90 minutos a temperatura ambiente, la primera separación es por centrifugación (Hermle Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania) a 10000 g por 10 minutos a 4°C. En la segunda extracción, se comienza separando el sobrenadante. Posteriormente, se emplea una solución de acetona y agua en una proporción 70:30 (v/v), repitiendo los mismos procedimientos realizados en la primera extracción. Finalmente, ambos sobrenadantes se combinan en partes iguales y se conservan a -40 °C en un ultracongelador ULUF (Arctiko, Lammefjordsvej, Dinamarca) hasta su análisis.

Contenido de polifenoles totales CPT: La medición se realizó utilizando el método del reactivo Folin-Ciocalteu, también conocido como método de equivalencia en ácido gálico (GAE), siguiendo las recomendaciones de Magalhães et al., (2010) con algunas modificaciones. Para ello, se mezclaron 50 µL del extracto de muestra con 50 µL del reactivo Folin-Ciocalteu, previamente diluido en agua desionizada en una proporción 1:5 (v/v), y agua ultrapura utilizada como blanco, en una microplaca transparente de 96 pocillos (Costar, España). La mezcla se dejó reposar por 2 minutos. Posteriormente, se añadieron 100 µL de una solución de hidróxido de sodio 0,35 M, y la placa fue inmediatamente colocada en un lector de microplacas Synergy HTX Multi-

Mode (Biotek Instruments Inc., EE. UU.). El equipo fue programado para agitar la mezcla, dejarla reposar por 5 minutos y medir la absorbancia a 760 nm.

Para la cuantificación, se construyó una curva de calibración con soluciones estándar de ácido gálico en un rango de concentración de 0,0 a 35,0 mg/L, obteniéndose la ecuación: $Y = 0,004x - 0,0124$ ($R^2 = 0,997$). Los resultados se vieron expresados como miligramos de equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra (mg GAE/g).

Assay PCL

Ensayo de fotoquimioluminiscencia

El ensayo de fotoquimioluminiscencia (PCL), fue empleado para evaluar el potencial antioxidante de las muestras extraídas, en este método, los radicales anión superóxido (O_2^-) generados tras la exposición a la luz y la presencia de un fotosensibilizador son detectados mediante su reacción con un fotosensibilizador, quimioluminógeno, compuesto-luminol (5-amino-2,3-dihidro-1,4-ftalazinediona). Para los ensayos del presente estudio, se empleó el instrumento Photochem® diseñado por Analytik Jena (Leipzig, Alemania) y el kit analítico ACL (ACL, del inglés Antioxidant Capacity Lipid soluble) (Popov & Lewin, 2005). En los estudios ACL, la curva cinética de emisión de luz se monitorizó durante 180 segundos y se expresó como equivalentes nM de Trolox. Las áreas bajo las curvas se calcularon utilizando el software de control y análisis PCLsoft® (Analytik Jena, Leipzig, Alemania). La capacidad antioxidante se determinó por triplicado y se expresó como μmol equivalentes de Trolox (TE)/g muestra basándose en la curva estándar de Trolox que oscilaba entre 0,5-3,0 nmol/L ($R^2 = 0,9984$).

3.3.5. Análisis sensorial de brownies

Se evaluaron ocho brownies sustituidos con harina de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*) germinada. En la investigación participaron 115 evaluadores (consumidores) del distrito de Barranca.

A los evaluadores se les dio indicaciones previas para el llenado del formato de evaluación sensorial CATA (Anexo 2). La evaluación se realizó en un laboratorio con cabinas sensoriales y se dio en una sola sesión. Las muestras de brownie fueron de 2x2 cm presentados en platos descartables con tres códigos aleatorios. Se pidió a los evaluadores que primero indiquen cuánto les gusta el producto utilizando la escala hedónica de 9 puntos, desde “Me disgusta extremadamente” hasta “Me gusta extremadamente”. Seguidamente describieron las características del brownie mediante una pregunta CATA. Para ello se les presentó una lista con 13 términos (olor chocolate, color marrón, denso, superficie crujiente, suave, húmedo, seco, arenoso, esponjoso, duro, sabor a chocolate, dulce y amargo) (Estrada, 2019) y se les pidió que marquen todas las características que correspondan a la muestra de brownie.

3.3.6. Análisis estadístico

Para cada uno de los participantes se obtendrá la tabla con los datos binarios (0/1) para cada muestra (en filas) y cada término de la lista CATA (en columnas). Para cada atributo, se estudiará la variación entre muestras con la prueba Q de Cochran. En base a la frecuencia de selección de los atributos para las distintas muestras se realizará un Análisis de Correspondencias. Finalmente se realizará un Análisis de Penalizaciones con ideal (Meyners et al., 2013). Para estos análisis se usará el programa XLSTAT® versión 2023.

3.4. Técnicas para el procedimiento de la información

Se realizó un análisis estadístico mediante regresión lineal múltiple utilizando el software R, con el objetivo de evaluar el efecto de las harinas germinadas sobre las variables dependientes. Para ello, se aplicó un análisis de varianza con un nivel de confianza del 95% ($\alpha = 0.05$), considerando modelos de regresión lineal, cuadrática y cúbica, con el propósito de seleccionar el modelo que presentara el mejor ajuste (mayor R^2) y significancia estadística ($p < 0.05$). Este modelo se utilizó para generar gráficos de superficie que permitieron identificar los rangos óptimos de harinas germinadas para maximizar las variables dependientes.

Durante el proceso de optimización, se empleó el método de la función deseada, consistiendo en normalizar cada variable dependiente en una escala “n” que varía entre 0 (fuera del rango deseado) y 1 (dentro del rango óptimo). Posteriormente, se calculó una función total “D” (con valores entre 0 y 1), correspondiente al promedio geométrico de todas las funciones individuales deseadas. Un valor alto de “D” indica un mejor desempeño del sistema y se considera como la solución óptima. Los valores óptimos se determinaron identificando las combinaciones de variables que maximizaron la función total “D”.

El criterio de optimización se centró en mejorar las propiedades sensoriales y nutricionales del producto, poniendo especial énfasis en aumentar la concentración de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante.

CAPITULO IV. RESULTADOS

4.1. Análisis de resultados

4.1.1. Composición fisicoquímica de los brownies

La Tabla 6 presenta las características fisicoquímicas de los brownies formulados con diferentes proporciones de harina de trigo, harina de tarwi germinado y harina de lenteja germinada. La pérdida de peso varió entre 10.00% (T5) y 23.67% (T4), cuyas formulaciones con mayor contenido de harina de trigo (T4) mostraron una mayor pérdida de humedad durante el horneado. Este comportamiento podría deberse a una menor retención de agua en matrices con menor proporción de leguminosas germinadas, las cuales poseen mayor capacidad de absorción debido a su alto contenido de fibra y proteínas (Gómez et al., 2021).

En cuanto al pH, los valores oscilaron entre 6.997 (T3) y 7.237 (T8), manteniéndose dentro del rango neutro característico de productos horneados. El T3, con un 40% de tarwi, presentó el pH más bajo, posiblemente debido a la presencia de compuestos ácidos liberados durante la germinación (Villacrés et al., 2020). Por otro lado, la acidez fue más elevada en el T6 (0.453), lo que podría relacionarse con la actividad enzimática de las leguminosas germinadas, que incrementa la producción de ácidos orgánicos (Peñas et al., 2019).

El contenido de humedad mostró variaciones significativas, siendo el T3 (40% tarwi) el que registró el mayor valor (17.53%), atribuido a la capacidad higroscópica de las proteínas y fibras del tarwi germinado (Ballesteros et al., 2021). En contraste, la actividad de agua (A_w) se mantuvo por debajo de 0.7 en todas las muestras, indicando

estabilidad microbiológica. El T4 presentó el mayor Aw (0.683), lo que podría asociarse a su menor proporción de leguminosas y mayor contenido de harina de trigo.

El análisis de cenizas reveló que el T4 tuvo el mayor contenido (2.083%), coincidiendo con estudios que reportan un incremento en minerales como calcio y hierro en productos con germinados (Roselló-Soto et al., 2020). En cuanto a la proteína, el T3 destacó con un 10.57%, confirmando el alto valor proteico del tarwi germinado, que puede alcanzar entre 35% y 50% de su composición (Lucas et al., 2022).

El contenido de grasa fue más elevado en el T6 (19.78%), lo que podría deberse a los lípidos presentes en la lenteja germinada. Estudios previos indican que la germinación modifica el perfil lipídico, reduciendo ácidos grasos saturados y aumentando los insaturados (Grela et al., 2021). Finalmente, la fibra dietética alcanzó su máximo nivel en el T1 (21.13%), respaldando la idea de que la combinación de leguminosas incrementa este componente, especialmente la fibra insoluble (Silva et al., 2023).

La sustitución parcial de harina de trigo por germinados de tarwi y lenteja mejora significativamente el perfil nutricional de los brownies, incrementando el contenido de proteína, fibra y minerales. Sin embargo, proporciones elevadas de tarwi (como en el T3) pueden afectar propiedades como la textura y la acidez.

Tabla 6. Composición fisicoquímica (Pérdida de peso, pH, acidez, humedad, Aw, ceniza, proteína. Grasa y fibra)

Muestra	Pérdida de peso	pH	Acidez	Humedad	Aw	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra
T1	12.67±0.577 ^e	7.197±0.015 ^{ab}	0.132±0.068 ^d	12.293±0.075 ^f	0.663±0.002 ^b	1.493±0.025 ^{ab}	7.577±0.006 ^f	17.423±0.064 ^f	21.130±0.035 ^a
T2	14.33±0.575 ^d	7.110±0.010 ^{bc}	0.181±0.004 ^d	12.417±0.285 ^f	0.650±0.005 ^{bc}	1.780±0.120 ^a	9.723±0.046 ^c	18.920±0.000 ^c	19.957±0.029 ^e
T3	19.67±0.578 ^b	6.997±0.006 ^d	0.312±0.003 ^c	17.530±0.140 ^a	0.665±0.002 ^{ab}	1.620±0.050 ^{ab}	10.570±0.035 ^a	19.333±0.040 ^b	20.443±0.046 ^c
T4	23.67±0.577 ^a	7.060±0.010 ^{cd}	0.366±0.000 ^{bc}	15.820±0.060 ^b	0.683±0.008 ^a	2.083±0.025 ^a	5.763±0.012 ^h	18.180±0.017 ^e	20.803±0.046 ^b
T5	10.00±0.000 ^f	7.047±0.006 ^{cd}	0.404±0.004 ^{ab}	16.007±0.025 ^b	0.643±0.014 ^c	1.800±0.090 ^a	9.570±0.017 ^d	18.517±0.006 ^d	18.800±0.069 ^f
T6	13.00±0.001 ^e	7.010±0.100 ^{cd}	0.453±0.005 ^a	14.403±0.255 ^d	0.652±0.006 ^{bc}	1.560±0.100 ^{ab}	7.393±0.012 ^g	19.780±0.052 ^a	18.910±0.035 ^f
T7	11.00±0.001 ^f	7.057±0.015 ^{cd}	0.389±0.001 ^{ab}	13.877±0.135 ^e	0.641±0.006 ^c	1.547±0.045 ^{ab}	9.873±0.029 ^b	19.347±0.029 ^b	19.900±0.017 ^e
T8	18.33±0.577 ^c	7.237±0.035 ^a	0.411±0.001 ^{ab}	14.980±0.160 ^c	0.651±0.003 ^{bc}	0.983±0.635 ^b	7.753±0.012 ^e	18.587±0.098 ^d	20.253±0.029 ^d

La Figura 5 presenta el análisis gráfico que evalúa el efecto de las proporciones de harina de trigo, harina de tarwi germinado y harina de lenteja germinada sobre la pérdida de peso en los brownies. El gráfico de contorno muestra las combinaciones de estos ingredientes que producen valores similares de pérdida de peso, donde las zonas con valores más altos ($>20\%$) corresponden a mezclas con predominio de harina de trigo ($>70\%$) y bajo contenido de leguminosas germinadas ($<15\%$). Esto se debe a la menor capacidad de retención de agua de la harina de trigo en comparación con las harinas germinadas. Por el contrario, las áreas con valores más bajos ($<7\%$) se asocian a formulaciones que incluyen 20-30% de harina de tarwi germinado y 10-20% de harina de lenteja germinada, lo que demuestra el efecto beneficioso de estas leguminosas para reducir la pérdida de humedad durante el horneado.

La superficie de respuesta revela una relación no lineal entre los componentes, donde los máximos de pérdida de peso (20-23%) ocurren en formulaciones con alto contenido de harina de trigo, mientras que los mínimos ($<3\%$) se alcanzan con proporciones equilibradas de harina de tarwi germinado (25-40%) y harina de lenteja germinada (15-25%). Este comportamiento confirma el efecto sinérgico de las leguminosas germinadas para mejorar la retención de agua en el producto final. Las trazas del gráfico muestran que, mientras la harina de trigo aumenta la pérdida de peso, la harina de lenteja germinada tiene un efecto reductor más marcado que la de tarwi, debido principalmente a su mayor contenido de fibra soluble y proteínas. Este resultado sugiere que para minimizar la pérdida de humedad se requieren ajustes hacia mayores proporciones de leguminosas germinadas, particularmente de lenteja.

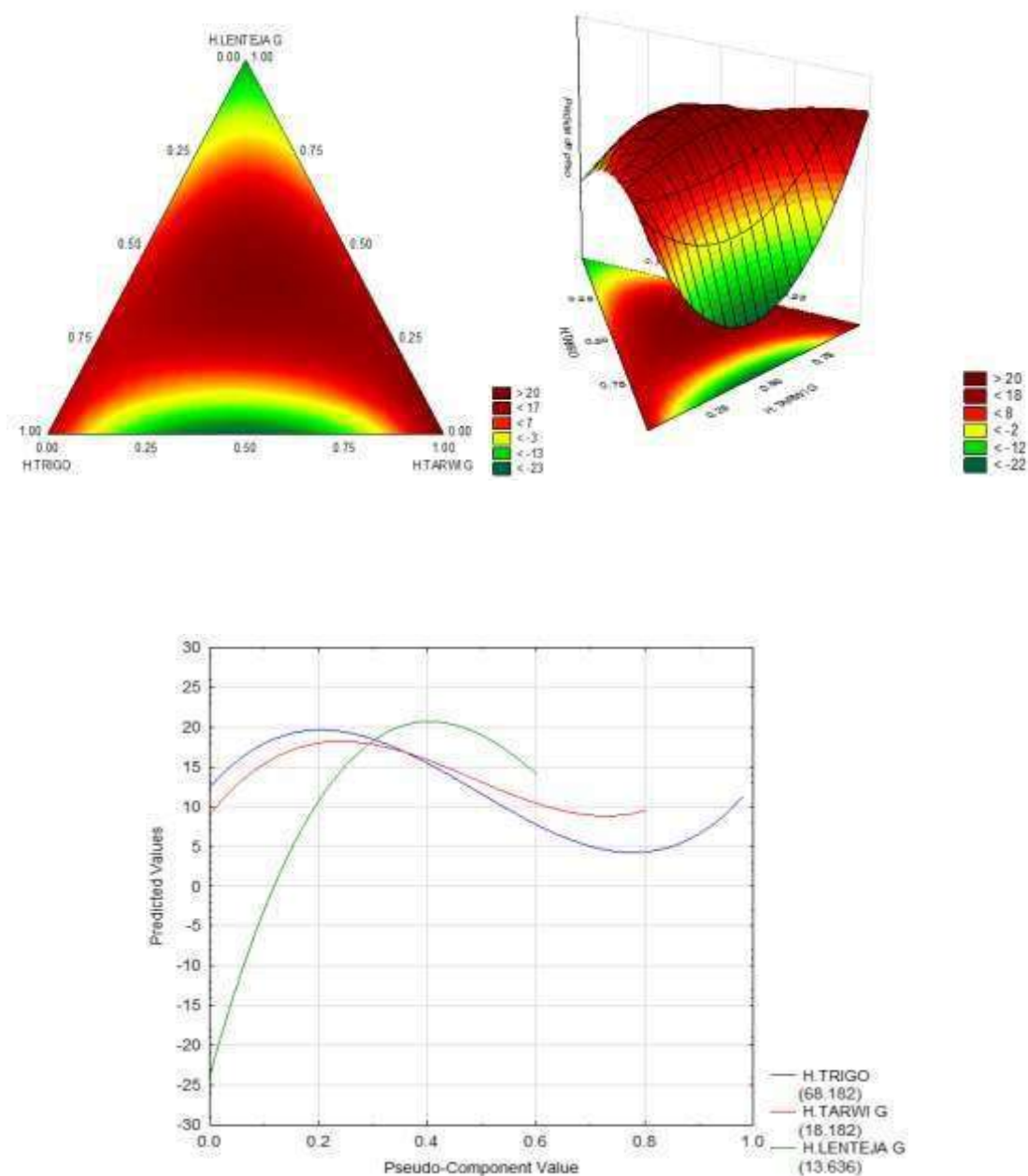


Figura 5. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de pérdida de peso

Los gráficos de la Figura 6 analizan el efecto de las proporciones de harina de trigo, harina de tarwi germinado y harina de lenteja germinada sobre el pH del producto. El gráfico de contorno muestra las combinaciones de ingredientes que generan valores similares de pH, representados mediante isolíneas. Las zonas con pH más elevados (>7.6) se asocian a formulaciones con mayor contenido de harina de trigo ($>70\%$), mientras que las áreas con valores más bajos (<7.0) corresponden a mezclas ricas en harina de lenteja

germinada (>20%). Este comportamiento refleja el carácter ligeramente ácido de las leguminosas germinadas, particularmente de la lenteja, debido a la liberación de compuestos orgánicos durante el proceso de germinación.

La superficie de respuesta revela una relación compleja entre los componentes, donde los valores máximos de pH (>7.6) se concentran en regiones con predominio de harina de trigo, y los mínimos (<7.0) aparecen en formulaciones con alto contenido de harinas germinadas, especialmente de lenteja. Las trazas del gráfico muestran que el pH disminuye progresivamente al incrementar la proporción de harina de tarwi germinado, mientras que la harina de lenteja germinada presenta un efecto menos pronunciado. Esto sugiere que la acidez característica de la tarwi germinada tiene mayor impacto en el pH final del producto que la lenteja germinada. Se debe equilibrar las proporciones de harinas germinadas, limitando especialmente el contenido de lenteja a menos del 20%. Los hallazgos concuerdan con estudios que reportan cambios en el perfil de acidez durante la germinación de leguminosas, destacando la importancia de controlar estos ingredientes para mantener las propiedades organolépticas del producto final. Estos resultados proporcionan información valiosa para formular productos de panificación con leguminosas germinadas, asegurando un pH adecuado que garantice tanto la calidad sensorial como la estabilidad del producto.

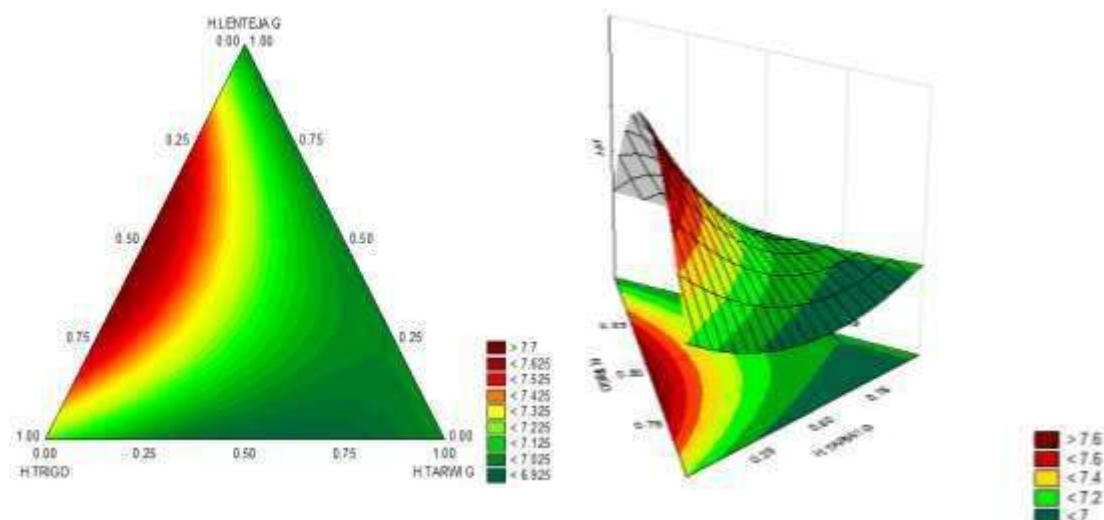


Figura 6. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de pH

La Figura 7 presenta un análisis detallado del comportamiento de la acidez en función de la composición de las harinas utilizadas en la formulación de los brownies. El gráfico de contorno revela una marcada variación en los niveles de acidez según las proporciones de harina de trigo (HT), harina de tarwi germinado (HTG) y harina de lenteja germinada (HLG). Las áreas con mayor acidez (>0.4) se concentran en las regiones con mayor contenido de harinas germinadas, particularmente de lenteja,

mientras que las zonas con menor acidez (<-0.25) corresponden a formulaciones con predominio de harina de trigo. Este patrón confirma el conocido efecto acidificante del proceso de germinación en leguminosas, que incrementa la presencia de compuestos orgánicos ácidos.

La representación tridimensional de la superficie de respuesta muestra una relación no lineal entre los componentes, donde se observa un incremento progresivo de la acidez al aumentar la proporción de harinas germinadas. Los valores más altos de acidez se registran en formulaciones que combinan aproximadamente 30-40% de HTG con 20-30% de HLG, mientras que las mezclas con más del 70% de HT presentan los niveles más bajos. Este comportamiento sugiere un efecto sinérgico entre las dos harinas germinadas en la contribución a la acidez total del producto.

El análisis de trazas demuestra que mientras la harina de trigo tiene un efecto neutral o reductor sobre la acidez, ambas harinas germinadas incrementan este parámetro, siendo más pronunciado el efecto de la harina de lenteja germinada, lo que sugiere que variar las proporciones de estas harinas produce cambios entre las propiedades tecnológicas y sensoriales del producto. Estos resultados coinciden con estudios recientes que destacan cómo la germinación modifica el perfil de ácidos orgánicos en leguminosas, aumentando particularmente el contenido de ácido málico y cítrico.

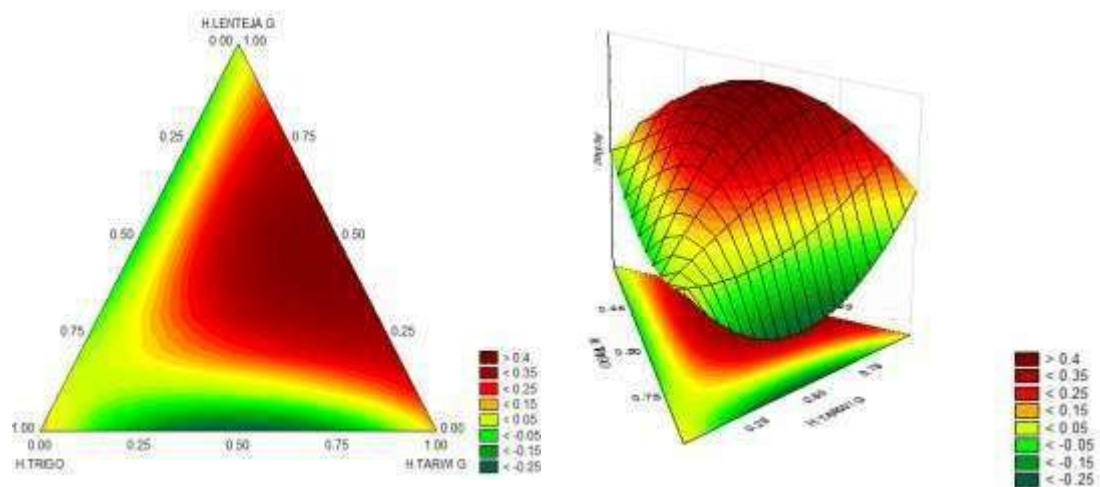


Figura 7. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de acidez

La Figura 8 muestra el comportamiento del contenido de humedad en función de las diferentes proporciones de HT, HTG y HLG. El gráfico de contorno revela una clara relación entre la composición de las harinas y la retención de humedad en el producto final. Las zonas con mayor contenido de humedad ($>26\%$) se concentran en las regiones con mayor proporción de harinas germinadas, particularmente cuando se combinan entre

20-40% de HTG y 15-30% de HLG. Por el contrario, las áreas con menor humedad (<9%) corresponden a formulaciones con predominio de harina de trigo (>70%), lo que confirma la menor capacidad de retención de agua de este ingrediente en comparación con las harinas germinadas.

La superficie de respuesta tridimensional muestra una relación no lineal entre los componentes, donde se observa que el incremento en la proporción de harinas germinadas conduce a un aumento progresivo del contenido de humedad. Los valores máximos se alcanzan en formulaciones que equilibran ambas harinas germinadas, destacando el efecto sinérgico entre el tarwi y la lenteja. Este comportamiento puede atribuirse a la mayor capacidad de absorción de agua de las proteínas y fibras presentes en los ingredientes germinados, así como a los cambios estructurales que ocurren durante el proceso de germinación.

El análisis de trazas demuestra que tanto la HTG como la HLG contribuyen positivamente al contenido de humedad, aunque con diferente intensidad. Mientras que la HTG muestra un efecto más marcado en el rango de 20-40%, la HLG presenta una contribución más gradual. Diversos estudios destacan la capacidad de las harinas germinadas para modificar las propiedades reológicas de las masas y mejorar la retención de agua durante el horneado.

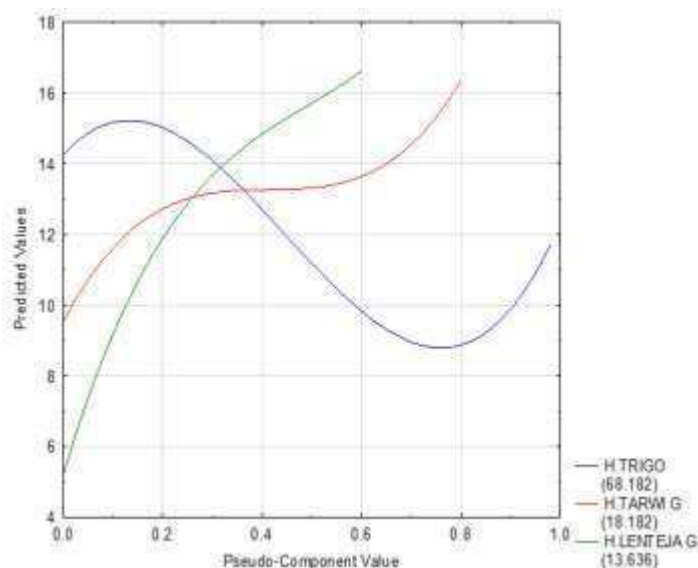
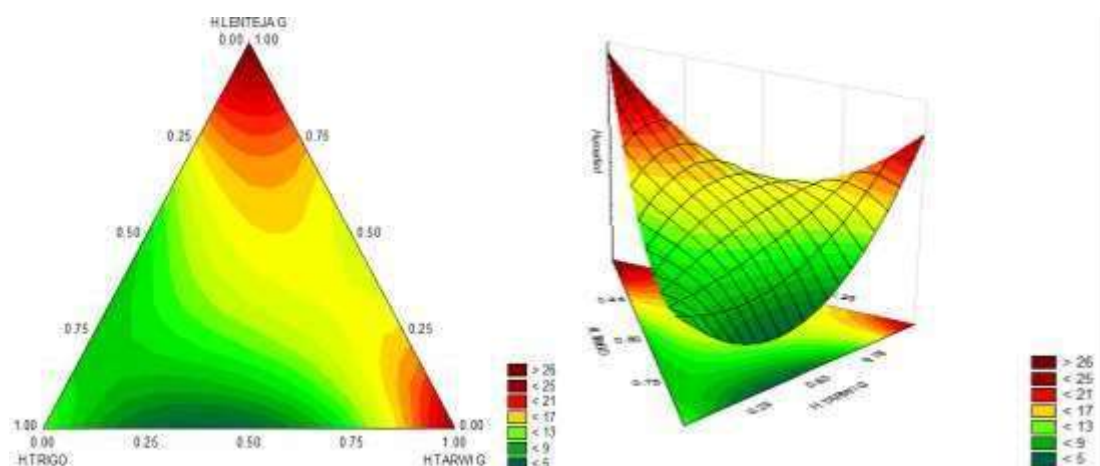


Figura 8. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de humedad

La Figura 9 examina el comportamiento de la actividad de agua (A_w) en función de la composición de las harinas mediante tres representaciones gráficas complementarias. El gráfico de contorno revela que los valores más altos de A_w (>0.66) se concentran en formulaciones con mayor proporción de harinas germinadas (especialmente 25-40% de HTG combinado con 15-30% de HLG), mientras que las áreas con menor A_w (<0.55) corresponden a mezclas con predominio de HT ($>70\%$). Este patrón refleja la mayor capacidad higroscópica de las leguminosas germinadas, que

retienen más agua disponible debido a su contenido elevado de compuestos hidrofílicos como proteínas y fibras solubles.

La superficie de respuesta muestra una relación no lineal donde se observa que el incremento simultáneo de ambas harinas germinadas produce un efecto sinérgico en el aumento de la A_w . Los valores máximos (0.66-0.68) aparecen cuando se combinan aproximadamente 30% de HTG con 20% de HLG, mientras que la harina de trigo ejerce un efecto reductor sobre este parámetro. Las trazas del gráfico detallan que la HLG tiene un impacto ligeramente mayor que la HTG en el incremento de la A_w , posiblemente debido a diferencias en su perfil de carbohidratos solubles. Este resultado sugiere que, aunque las harinas germinadas aumentan la A_w , su uso en las proporciones indicadas mantiene la estabilidad microbiológica del producto. Los hallazgos coinciden con estudios que reportan cómo la germinación modifica la dinámica del agua en matrices alimentarias, destacando la importancia de controlar estos ingredientes para garantizar tanto la calidad como la seguridad del producto final.

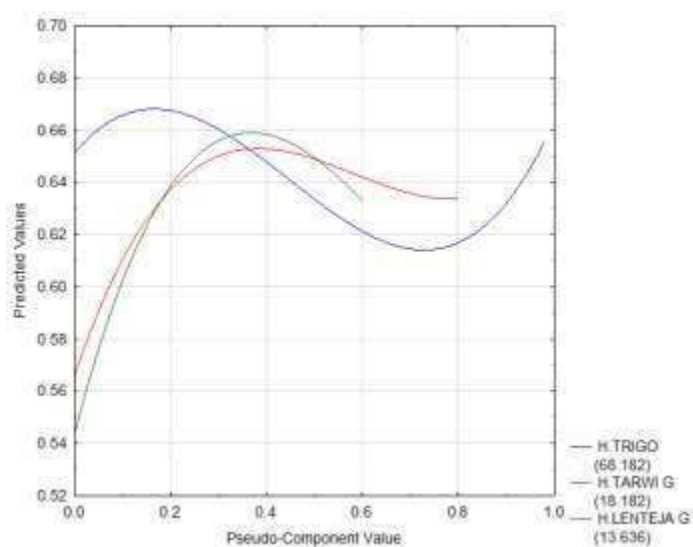
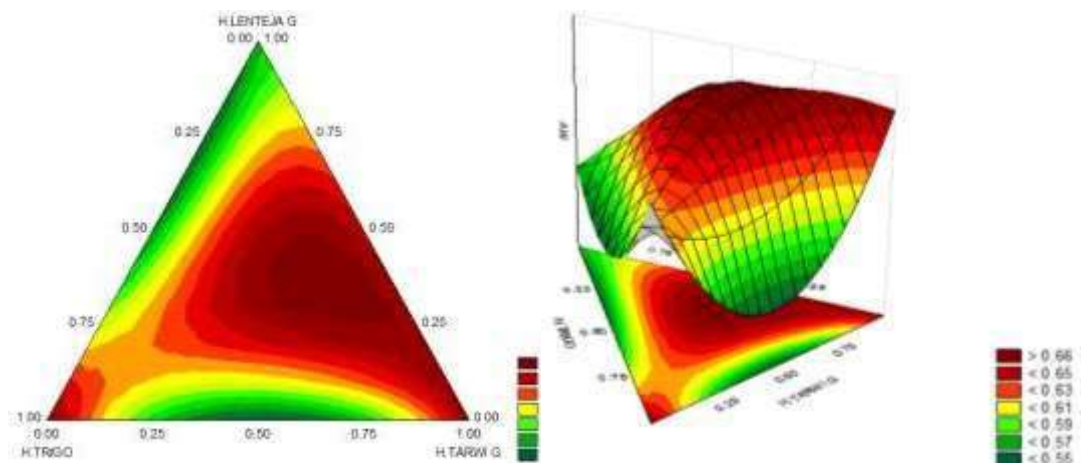


Figura 9. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Aw

La Figura 10 presenta un análisis detallado del contenido de cenizas en función de la composición de las diferentes harinas. El gráfico de contorno muestra una marcada variación en los valores de cenizas (entre 0.25% y 2.25%), donde las áreas con mayor contenido mineral ($>2\%$) se concentran en formulaciones con alto porcentaje de harina de lenteja germinada, particularmente en combinaciones que superan el 30% de este ingrediente. Este comportamiento refleja el conocido enriquecimiento mineral que ocurre

durante el proceso de germinación en leguminosas, donde se incrementa la biodisponibilidad de minerales como hierro, calcio y zinc.

La representación tridimensional de la superficie de respuesta revela una relación compleja entre los componentes. Se observa que el incremento simultáneo de ambas harinas germinadas (HTG y HLG) produce un efecto sinérgico en el aumento del contenido de cenizas, siendo más pronunciada la contribución de la harina de lenteja. Los valores máximos se alcanzan cuando la HLG representa entre 25-35% de la formulación, mientras que la harina de trigo muestra un efecto diluyente sobre este parámetro, como era de esperarse por su menor contenido mineral intrínseco.

El análisis de trazas demuestra claramente la superioridad de la HTG sobre la HLG en cuanto a aporte mineral, con una diferencia aproximada de 0.5-0.75% en contenido de cenizas para proporciones equivalentes. Estos resultados concuerdan plenamente con estudios recientes que reportan incrementos significativos en el contenido de minerales durante la germinación de leguminosas, particularmente en el caso del tarwi. Estos hallazgos son particularmente relevantes para el desarrollo de productos de panificación enriquecidos, donde el aporte mineral de los ingredientes germinados puede contribuir significativamente a cubrir los requerimientos nutricionales diarios. El conocimiento generado permite ajustar las formulaciones para maximizar el contenido mineral sin comprometer las características sensoriales del producto final.

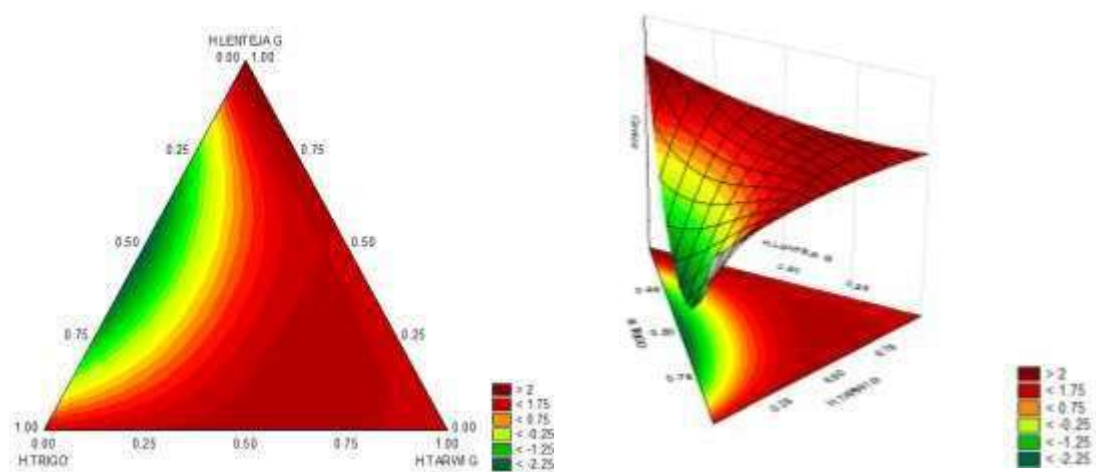


Figura 10. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Ceniza

La Figura 11 examina el comportamiento del contenido proteico en función de las proporciones de HT, HTG y HLG. El gráfico de contorno revela una distribución marcadamente diferenciada, donde los valores más altos de proteína (>30%) se concentran en formulaciones con alto contenido de HTG (30-40%), mientras que las áreas con menor contenido proteico (<7%) corresponden a mezclas dominadas por harina de

trigo. Este patrón destaca la superioridad del tarwi germinado como fuente proteica, confirmando estudios que reportan contenidos proteicos del 40-50% en esta leguminosa andina.

La superficie de respuesta muestra una relación no lineal donde se observa que el incremento de HTG produce un aumento exponencial del contenido proteico, superando significativamente el aporte de la HLG. Los valores máximos se alcanzan cuando el tarwi germinado representa el 35-45% de la formulación, demostrando su potencial como ingrediente proteico estratégico. Las trazas del gráfico detallan que mientras 1% de aumento en HTG incrementa aproximadamente 0.8% el contenido proteico, el mismo incremento en HLG solo aporta 0.3-0.4%, evidenciando diferencias sustanciales en su composición aminoacídica. Los resultados sugieren que para alcanzar valores proteicos superiores al 25% sería necesario incrementar la proporción de HTG al menos al 30%, manteniendo un balance adecuado con otros ingredientes. Los hallazgos coinciden con investigaciones recientes que destacan al tarwi como la leguminosa con mayor densidad proteica entre los cultivos andinos, particularmente cuando se somete a procesos de germinación que mejoran su perfil aminoacídico.

Los resultados demuestran que mediante la selección adecuada de proporciones se puede modular significativamente el contenido proteico del producto final, ofreciendo posibilidades interesantes para el desarrollo de alimentos funcionales enriquecidos. Estos resultados aportan evidencia cuantitativa para sustentar el uso de tarwi germinado como ingrediente clave en formulaciones de alto valor nutricional, particularmente en aplicaciones donde se busca reemplazar o complementar fuentes proteicas tradicionales.

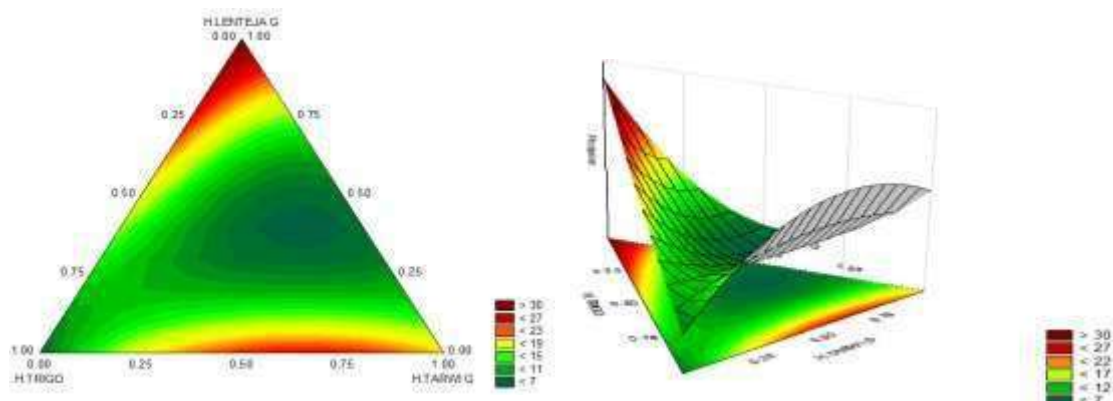


Figura 11. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Proteínas

La Figura 12 evalúa el contenido de grasa en función de las proporciones de harina de trigo (HT), harina de tarwi germinado (HTG) y harina de lenteja germinada (HLG). El gráfico de contorno muestra que los valores más altos de grasa (>22%) se concentran en formulaciones con mayor contenido de HTG (25-40%), mientras que las áreas con menor contenido lipídico (<14%) corresponden a mezclas con predominio de harina de trigo o lenteja germinada. Este comportamiento refleja el conocido alto contenido lipídico del

tarwi, que puede alcanzar hasta un 20% de su composición, predominantemente en forma de ácidos grasos insaturados beneficiosos para la salud.

La superficie de respuesta revela una relación no lineal donde el incremento de HTG produce un aumento progresivo del contenido graso, mientras que la HLG muestra un efecto moderador. Los valores máximos (20-22%) se obtienen cuando el tarwi germinado representa entre 30-40% de la formulación. Las trazas del gráfico detallan que por cada 10% de aumento en HTG, el contenido graso se incrementa aproximadamente 2-3%, mientras que el mismo incremento en HLG apenas aporta 0.5-1%, confirmando diferencias sustanciales en su perfil lipídico.

Este resultado sugiere que para productos con menor contenido lipídico debería priorizarse la HLG, mientras que formulaciones que busquen aprovechar los ácidos grasos saludables del tarwi podrían incrementar su proporción hasta 25-30%. Los hallazgos coinciden con estudios que destacan al tarwi como fuente de lípidos de alta calidad nutricional, particularmente rico en ácido oleico y linoleico. Estos resultados permiten evidenciar cuantitativamente que el diseño de formulaciones se debe aprovechar las ventajas lipídicas del tarwi germinado, ya sea para enriquecer productos convencionales o desarrollar alternativas con perfiles grasos mejorados.

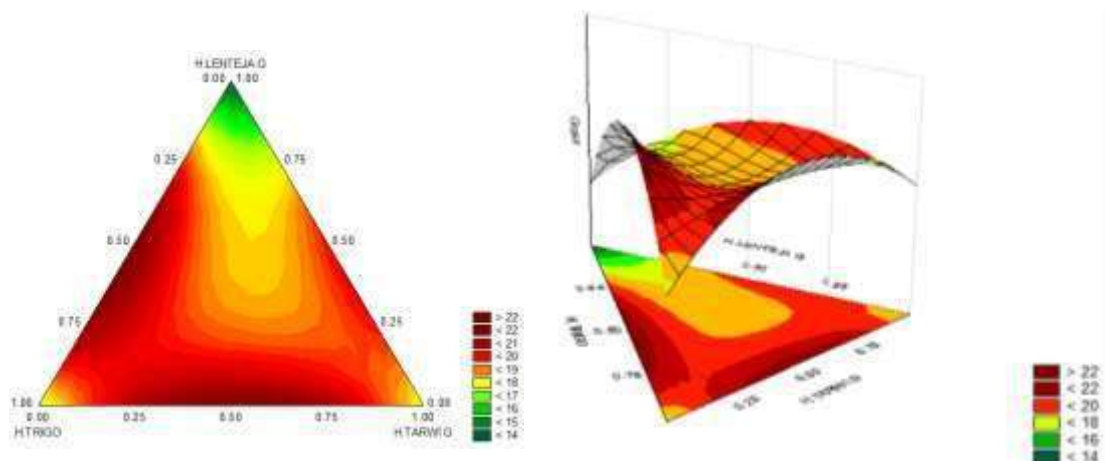


Figura 12. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de Grasa

La Figura 13 presenta un análisis detallado del contenido de fibra dietética en función de la composición de las diferentes harinas. Los gráficos revelan que los valores más altos de fibra ($>22\%$) se obtienen en formulaciones con mayor proporción de harina de tarwi germinado (30-40%) o en mezclas que combinan aproximadamente 20-30% de

ambas harinas germinadas (HTG y HLG). Este comportamiento destaca el efecto sinérgico entre las leguminosas germinadas para incrementar la fibra total del producto.

La superficie de respuesta muestra una relación no lineal donde la harina de tarwi germinado contribuye más significativamente al contenido de fibra que la lenteja germinada, con un punto óptimo alrededor del 35% HTG y 25% HLG donde se alcanzan los valores máximos. Para lograr superar el 20% de fibra sería necesario incrementar las harinas germinadas al 25-30%. Estos resultados coinciden con estudios que reportan mayores contenidos de fibra, particularmente soluble, en ingredientes germinados, destacando el potencial del tarwi como fuente destacada de fibra dietética entre las leguminosas. Es posible modular el contenido de fibra mediante la selección adecuada de ingredientes, ofreciendo oportunidades para desarrollar productos con beneficios específicos para la salud digestiva.

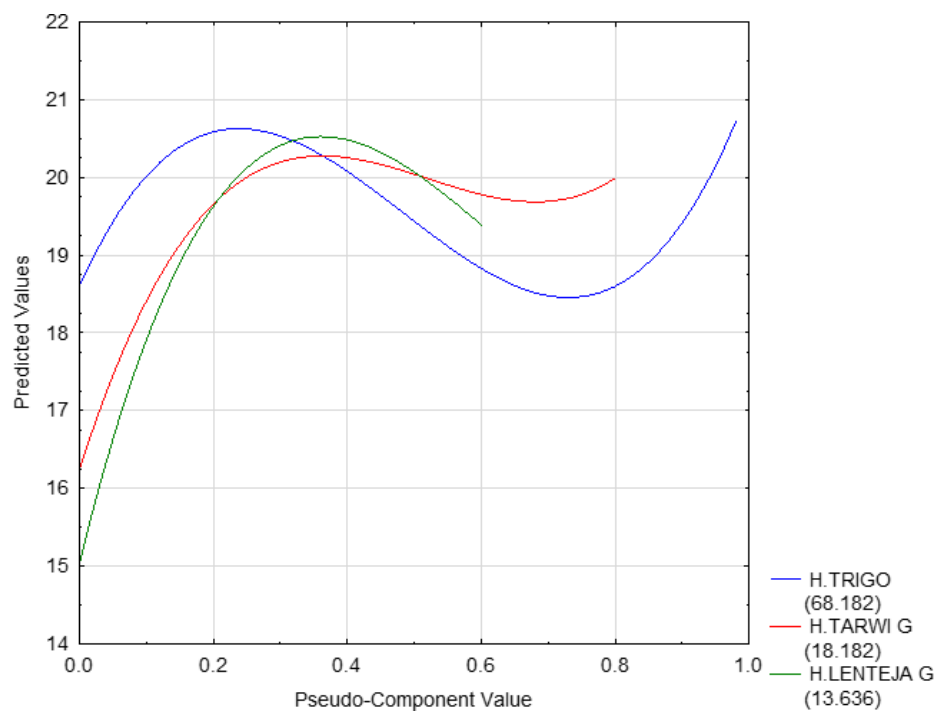
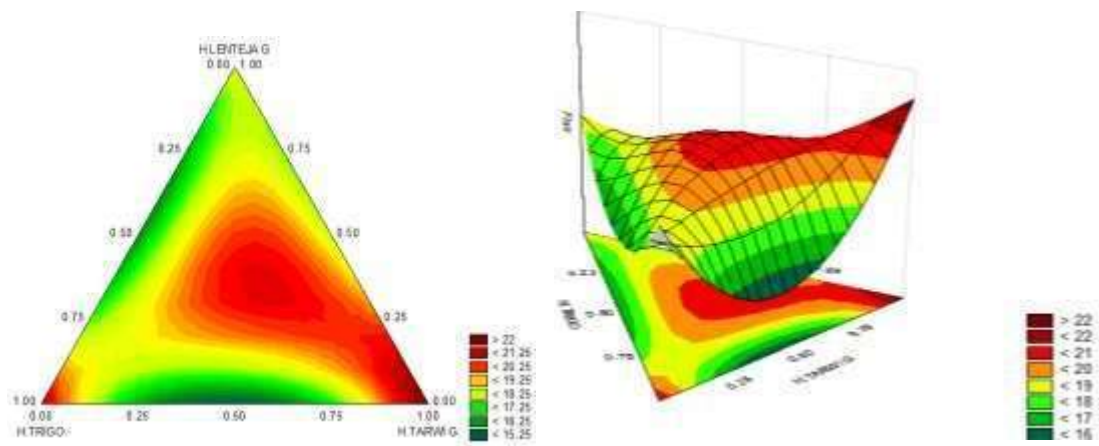


Figura 13. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de Fibra

4.1.2. Parámetros colorimétricos de los brownies

Los resultados colorimétricos se presentan en la Tabla 7, donde se revelan diferencias significativas entre las muestras, tanto en la corteza como en el interior de los productos. La luminosidad (L^*) de la corteza varió entre 41.717 (T2) y 45.487 (T8), mostrando que las formulaciones con mayor proporción de harinas germinadas (especialmente T4, T5 y T8) presentaron colores más claros. Este efecto podría atribuirse a las reacciones de Maillard menos intensas durante el horneado debido al mayor contenido de proteínas y azúcares reductores en las harinas germinadas (Martínez et al., 2021).

Los parámetros a^* (rojo-verde) y b^* (amarillo-azul) mostraron valores más altos en las muestras con mayor contenido de harina de tarwi germinado (T4, T5, T8), alcanzando valores máximos de 4.397 (a) y 4.070 (b) en la corteza de T8. Esto sugiere que el tarwi germinado contribuye a tonalidades más rojizas y amarillentas, probablemente por su mayor contenido de compuestos fenólicos y pigmentos naturales (Gutiérrez et al., 2022). La cromaticidad (C^*) siguió este mismo patrón, con los valores más altos (5.990 en T8) asociados a colores más intensos.

En el interior de los productos, se observó una tendencia similar, pero con menores diferencias entre muestras. La luminosidad se mantuvo relativamente estable (42.077-43.780), mientras que los parámetros de color mostraron variaciones menos marcadas que en la corteza. Esto indica que las reacciones de pardeamiento fueron más intensas en la superficie, como era de esperar (Wang et al., 2022).

Los ángulos de tono (H^*) oscilaron entre 36.070° y 43.237° en la corteza, y entre 39.750° y 45.480° en el interior, correspondiendo a tonalidades en el rango amarillo-rojizo. Las muestras con mayor contenido de leguminosas germinadas (T4, T5) presentaron valores de H^* más altos, indicando un ligero desplazamiento hacia tonalidades más amarillas, posiblemente asociado a los carotenoides liberados durante la germinación (Silva et al., 2023).

Estos resultados coinciden con estudios recientes que destacan cómo la germinación modifica las propiedades ópticas de las harinas, aumentando su capacidad de retención de agua y modificando su comportamiento durante el horneado (Rocchetti et al., 2023). Los cambios observados en las propiedades colorimétricas podrían afectar la aceptabilidad sensorial del producto, ya que el color es un atributo clave en la percepción de calidad por parte de los consumidores.

Tabla 7. *Propiedades colorimétricas mediante el sistema CIELab (L, a, b, c, h)*

Muestra	L* cor	a* cor	b* cor	C* cor	H* cor	L* int	a* int	b* int	C* int	H* int
T1	43.397±0.045 ^d	2.930±0.010 ^f	2.130±0.010 ^f	3.627±0.006 ^e	36.070±0.220 ^e	42.810±0.130 ^{bcd}	3.367±0.035 ^b	2.800±0.020 ^c	4.380±0.010 ^c	39.750±0.540 ^c
T2	41.717±0.225 ^f	2.763±0.029 ^g	2.330±0.020 ^e	3.610±0.000 ^e	40.197±0.535 ^d	42.917±0.085 ^{bc}	3.763±0.505 ^b	3.407±0.625 ^{bc}	5.070±0.790 ^{bc}	41.997±1.425 ^{bc}
T3	42.347±0.125 ^e	3.467±0.065 ^d	3.220±0.080 ^c	4.730±0.100 ^c	42.930±0.180 ^{ab}	42.077±0.065 ^d	3.640±0.000 ^b	3.457±0.025 ^{bc}	5.020±0.020 ^{bc}	43.530±0.240 ^{ab}
T4	44.790±0.180 ^b	4.217±0.006 ^b	3.960±0.020 ^a	5.780±0.010 ^a	43.237±0.145 ^a	43.780±0.050 ^a	4.957±0.335 ^a	5.040±0.410 ^a	7.070±0.530 ^a	45.480±0.390 ^a
T5	44.280±0.020 ^c	4.050±0.010 ^c	3.727±0.065 ^b	5.500±0.050 ^b	42.607±0.425 ^{ab}	43.697±0.295 ^a	4.787±0.175 ^a	4.750±0.340 ^a	6.740±0.360 ^a	44.760±0.990 ^{ab}
T6	42.590±0.030 ^e	3.207±0.115 ^a	2.880±0.130 ^d	4.310±0.170 ^d	41.967±0.255 ^{bc}	43.450±0.320 ^{ab}	3.970±0.080 ^b	3.780±0.150 ^b	5.487±0.045 ^b	43.580±1.750 ^{ab}
T7	43.407±0.075 ^d	3.480±0.040 ^d	3.087±0.085 ^c	4.657±0.085 ^c	41.547±0.405 ^c	42.370±0.570 ^{cd}	3.567±0.155 ^b	3.477±0.215 ^{bc}	4.977±0.265 ^{bc}	44.257±0.555 ^{ab}
T8	45.487±0.025 ^a	4.397±0.045 ^a	4.070±0.020 ^a	5.990±0.020 ^a	42.787±0.435 ^{ab}	42.697±0.035 ^{cd}	3.877±0.015 ^b	3.710±0.100 ^b	5.360±0.060 ^{bc}	43.760±0.900 ^{ab}

En la Figura 14 se presenta los gráficos obtenidos mediante el diseño de mezclas, donde se observa que la variable de luminosidad (L^*) en la corteza, representado mediante tres tipos de gráficos: contorno, superficie y trazas. Los datos muestran valores que oscilan entre 0.00 y 1.00, con fluctuaciones intermedias como 0.25, 0.50 y 0.75, lo que sugiere variaciones en la reflectancia de la superficie. Las trazas indican tendencias específicas, con valores máximos (>48) y mínimos (<31), reflejando posibles zonas de mayor o menor claridad en la estructura de la corteza.

En la Figura 15 se analiza la variable de colorimetría a^* en la corteza. Los datos muestran valores que oscilan entre 0.00 y 1.00, con puntos clave en 0.25, 0.50 y 0.75 de cada componente HTG, HT y HTG, indicando variaciones en la componente rojo-verde del color. Se observan valores mínimos (<3 y <1), que podrían corresponder a zonas con menor intensidad de rojo. Además, el gráfico de traza muestra que el componente HLG sugiere una posible influencia de estos elementos en las propiedades cromáticas de la corteza.

La Figura 16 presenta mediante gráficos de contorno, superficie y trazas el análisis de la variable b^* (componente amarillo-azul en el espacio de color CIELAB). Los datos muestran valores presentan puntos significativos similares con el parámetro a^* (0.25, 0.50 y 0.75 de cada componente HTG, HT y HTG), seguidos de valores nulos (0.00) asociados a componentes como HT y HTG. Las trazas revelan un rango amplio de valores, desde >6 hasta <-2 , indicando fluctuaciones importantes en la intensidad del componente amarillo-azul en diferentes zonas de la corteza presentado por la presencia del HTG. Estos componentes podrían estar relacionados con la composición química o estructural del brownie.

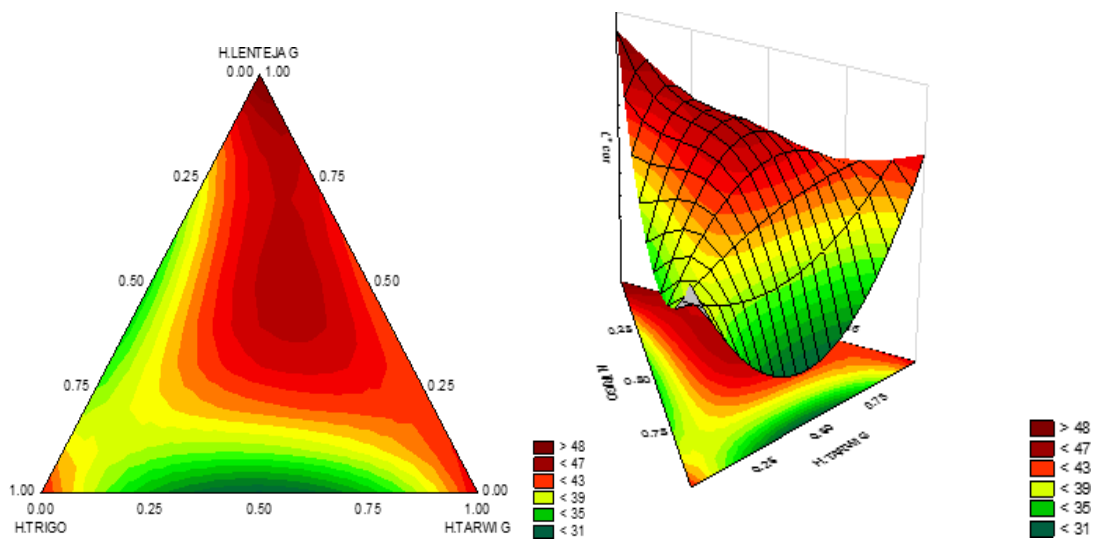


Figura 14. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de L^* en la corteza

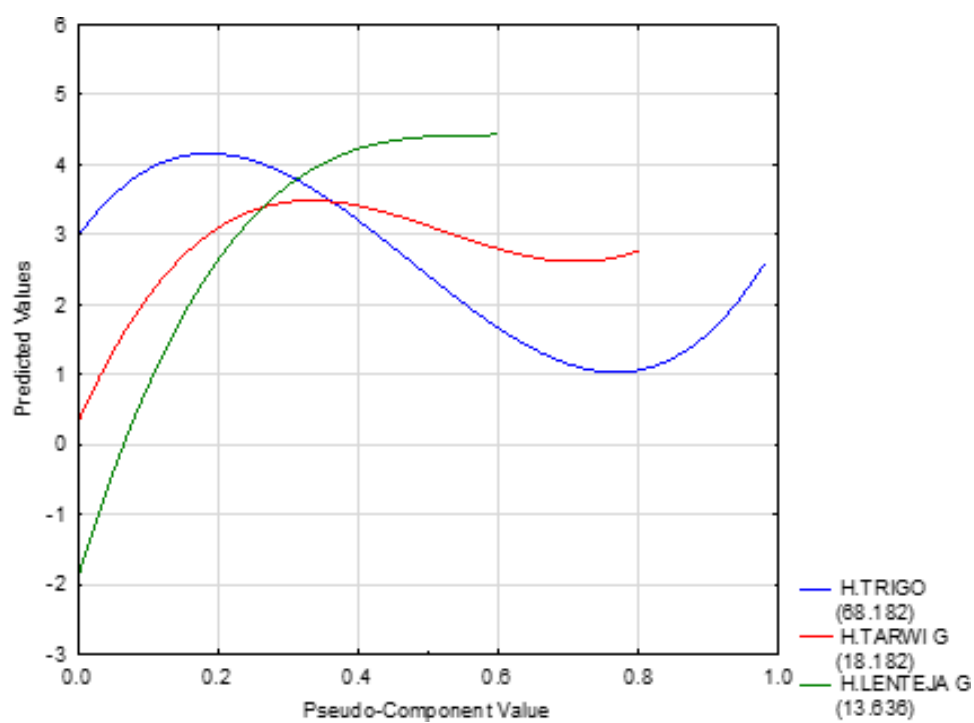
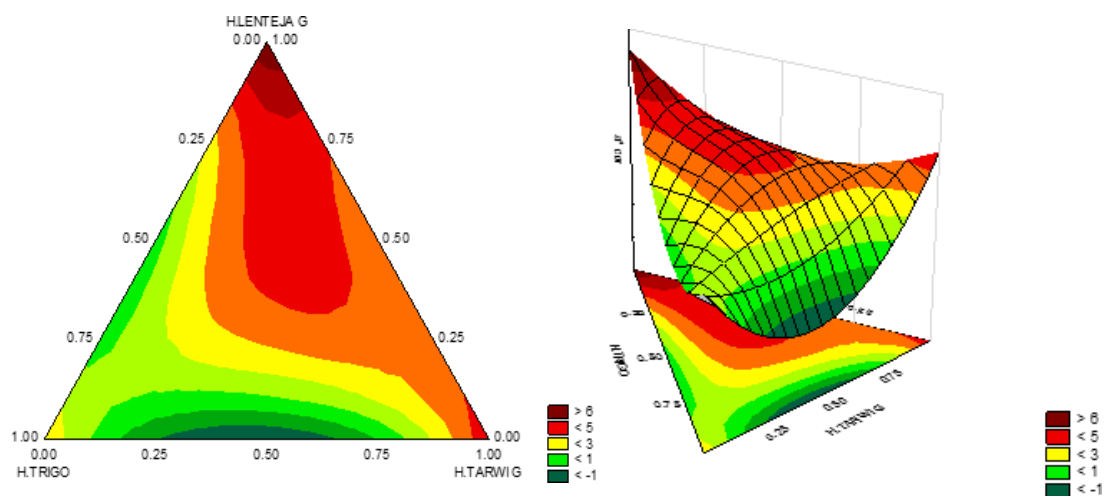


Figura 15. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de a^* en la corteza

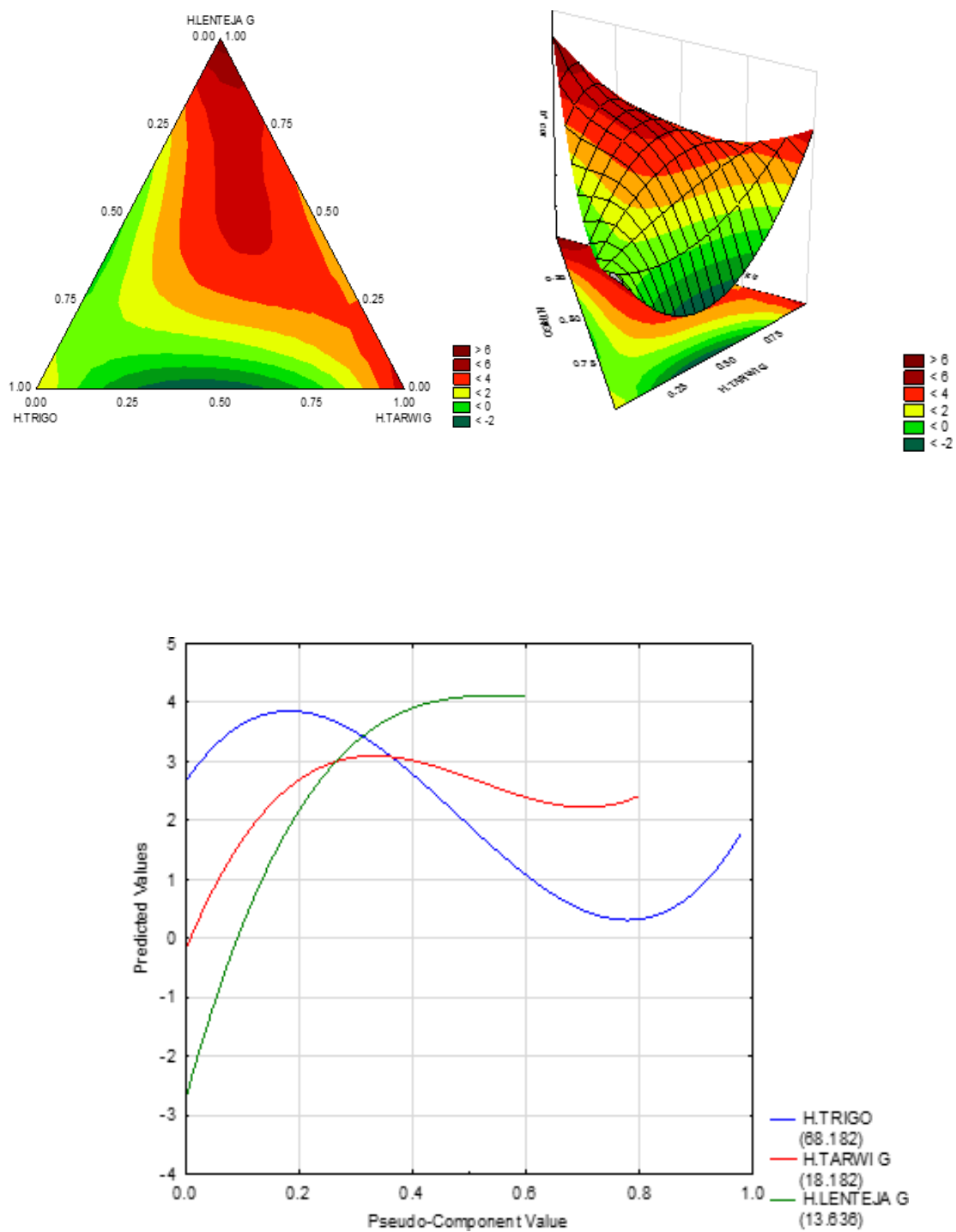


Figura 16. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de b^* en la corteza

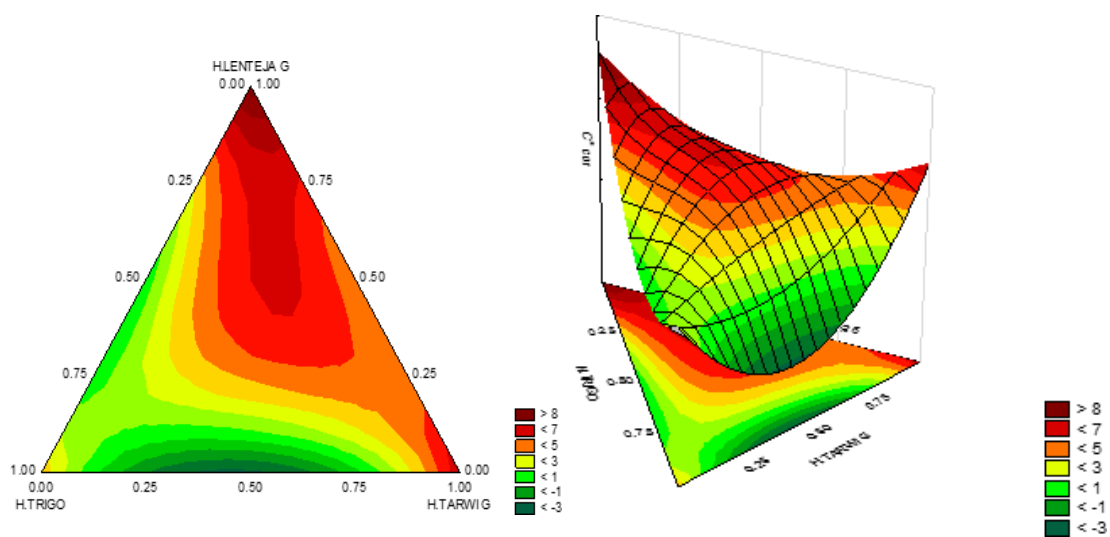


Figura 17. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de C* en la corteza

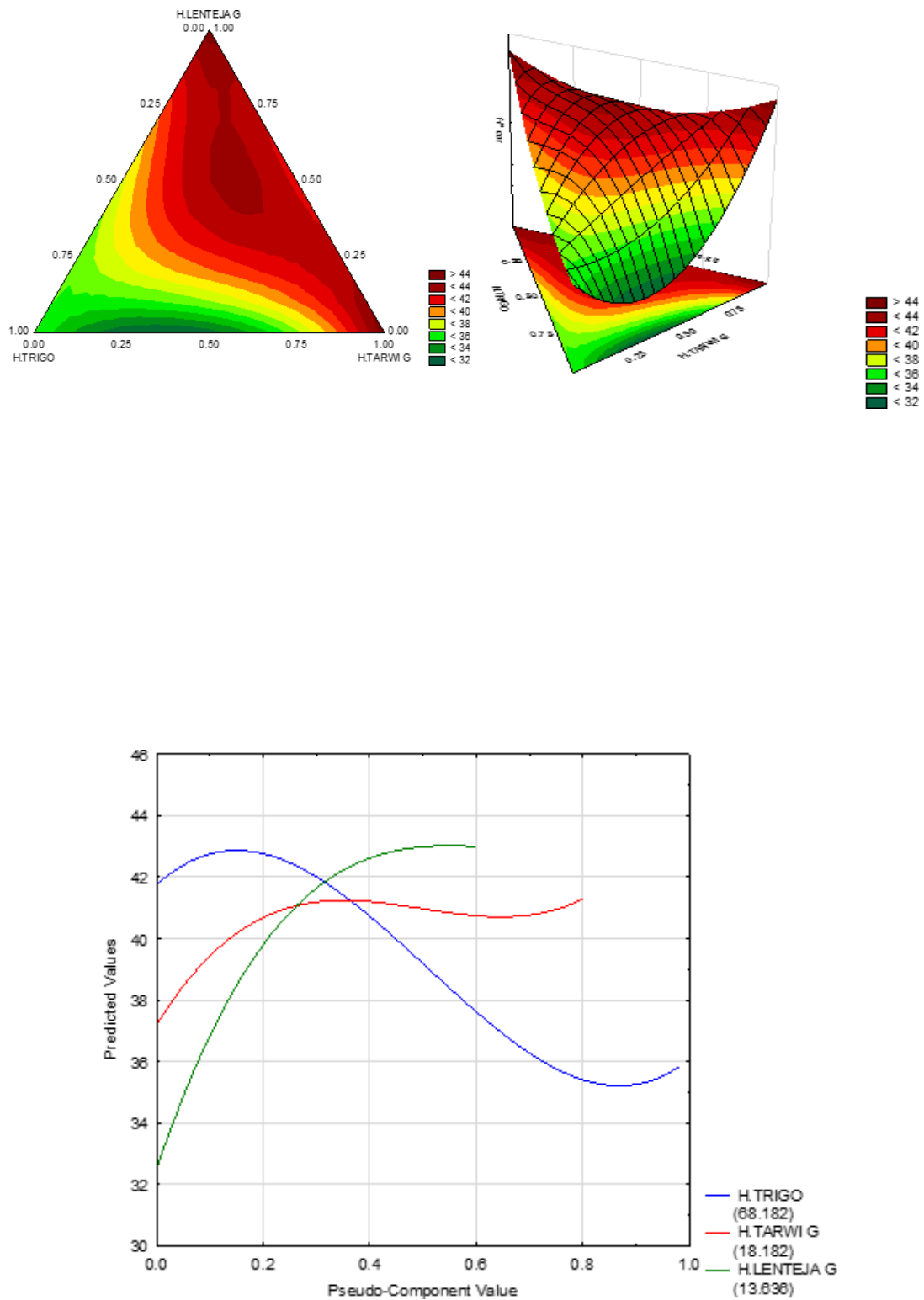


Figura 18. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de H^* en la corteza

Los gráficos permiten visualizar patrones espaciales en la distribución del componente b^* , destacando áreas con mayor concentración de tonalidades amarillas

(valores positivos) frente a zonas con tendencia al azul (valores negativos). La presencia de valores extremos (<-2) en las trazas indica posibles anomalías o características particulares en ciertas regiones de la corteza, lo que resulta relevante para el análisis cualitativo y cuantitativo de sus propiedades colorimétricas.

La Figura 17 analiza la variable C^* (cromaticidad o saturación del color) mediante representaciones gráficas tridimensionales. Las trazas presentan un amplio rango de valores desde >8 hasta <-3 , revelando fuertes contrastes en la intensidad cromática de diferentes zonas de la corteza presentado por la HLG. Los gráficos permiten identificar patrones espaciales en la saturación del color, donde los valores positivos altos (>8) corresponderían a zonas de máxima pureza cromática, mientras que los valores negativos (<-3) podrían indicar áreas neutras o desaturadas. La repetición sistemática de ciertos valores (como 0.25, 0.50, 0.75 compuesto por HTG, HT y HLG) sugiere la presencia de estructuras periódicas o patrones repetitivos en la distribución de la cromaticidad a través de la superficie analizada.

La Figura 18 muestra la distribución cromática a través de tres tipos de representaciones gráficas. El ángulo de tono (H^*) en el espacio de color CIELAB, donde el gráfico de trazas revelan un rango de valores desde >44 hasta <32 , indicando variaciones significativas en el tono a lo largo de la superficie analizada, destacando la presencia del HLG. Los gráficos permiten identificar la presencia de patrones espaciales en la distribución del tono, con valores superiores (>44) correspondientes a tonos más saturados.

La Figura 19 presenta un análisis de la luminosidad (L^*) en el interior del brownie mediante representaciones gráficas tridimensionales. Los datos muestran influencia asociados a los componentes principales HT y HLG. Las trazas revelan un rango de variación entre >43 y <39.25 , lo que indica diferencias notables en la claridad del producto. Estas fluctuaciones podrían relacionarse con la distribución no homogénea de ingredientes o con variaciones en la estructura porosa resultante del horneado. Los gráficos permiten identificar zonas de mayor luminosidad (>43), posiblemente vinculadas a áreas de menor densidad o diferente composición química, así como áreas de transición representadas por la secuencia numérica detallada. Además, las variaciones graduales (<39.25) podrían señalar cambios en la estructura porosa o en el contenido de humedad, aspectos críticos para la textura y apariencia final del brownie.

El análisis de la Figura 20 revela importantes variaciones en la componente rojo-verde (a^*) del espacio de color CIELAB en el interior del brownie. Los valores muestran una asociación con los componentes HLG y HTG. Las trazas presentan una amplia variabilidad, desde valores superiores a 6, que indican tonalidades rojizas intensas, hasta inferiores a -0.75 , que sugieren una tendencia hacia tonalidades verdes. Esta marcada variación cromática refleja diferencias en la composición y distribución de los ingredientes a lo largo de la masa del producto. Los gráficos permiten identificar zonas con tonalidades rojizas intensas (>6), probablemente vinculadas a reacciones de Maillard durante el horneado, así como áreas con tendencia al verde (<-0.75), que podrían estar asociadas a la presencia de ciertos ingredientes o a variaciones en el proceso de cocción. Además, se observan patrones de distribución espacial de los componentes principales y transiciones graduales representadas por la secuencia decreciente en las trazas. Por lo que, se debe controlar la uniformidad del horneado, la distribución homogénea de ingredientes

y las reacciones químicas que ocurren durante el cocido, aspectos clave para garantizar una apariencia visual óptima en el producto final.

El análisis de la Figura 21 evidencia variaciones en el componente b^* (amarillo-azul) del espacio de color CIELAB dentro de la estructura del brownie, donde se observa una mayor influencia en este parámetro productor por el componente HLG y en menor media por HT y HTG. Los datos muestran valores extremos que descienden hasta <-3 , lo que revela la presencia de áreas con marcada tonalidad azulada. La secuencia numérica de 0.7 a 0.0 presenta un decrecimiento no uniforme, lo que sugiere una distribución heterogénea de los compuestos colorantes, posiblemente influenciada por gradientes de temperatura durante el horneado que afectaron los procesos de caramelización, así como por variaciones en la densidad del producto que modifican su apariencia visual. La presencia de valores negativos (<-3) adquiere especial relevancia, ya que podría indicar la formación de compuestos azulados debido a reacciones químicas específicas, reflejar interacciones complejas entre los ingredientes o señalar áreas con cocción desigual.

La Figura 22 muestra variaciones significativas de la distribución espacial de la saturación del color (C^*) en el interior del brownie, donde se observa una mayor influencia en este parámetro productor por el componente HLG y en menor media por HT y HTG. Las trazas evidencian un amplio rango de saturación, desde valores superiores a 8, que indican colores intensamente saturados, hasta inferiores a -2, correspondientes a tonalidades neutras, lo que refleja una notable heterogeneidad cromática en la estructura del producto. Los gráficos permiten identificar zonas de máxima saturación (>8), probablemente asociadas a concentraciones locales de azúcares caramelizados, así como áreas neutras (<-2) que podrían corresponder a burbujas de aire o regiones con menor

reactividad química. Además, se observan patrones radiales en la distribución del color desde el centro hacia la periferia, lo que sugiere un efecto significativo de la transferencia de calor durante el proceso de horneado en el desarrollo cromático.

El análisis de la Figura 23 mediante representaciones gráficas tridimensionales se observa la distribución del ángulo de tono (H^*) en el interior del brownie, donde se observa una mayor influencia en este parámetro productor por el componente HLG y HTG y en menor medida por HT. Las trazas muestran una progresión descendente desde valores superiores a 48 hasta inferiores a 27, lo que evidencia variaciones notables en el tono a lo largo de la estructura del producto. Estos gráficos permiten identificar zonas con tonos puros (>48) en áreas específicas del brownie, transiciones graduales representadas por la secuencia decreciente de valores, y posibles patrones radiales en la distribución del color. Además, se observa cómo la estructura porosa del producto afecta la percepción del tono en diferentes regiones. Estos resultados indican que se debe controlar la uniformidad cromática, mediante los ingredientes en la formulación para obtener tonos específicos, comprender la relación entre el proceso de cocción y el desarrollo del color con la calidad sensorial del producto. La presencia simultánea de valores extremos (>48) sugiere patrones complejos de transferencia de calor y masa durante el horneado que influyen significativamente en la distribución espacial de los componentes cromáticos.

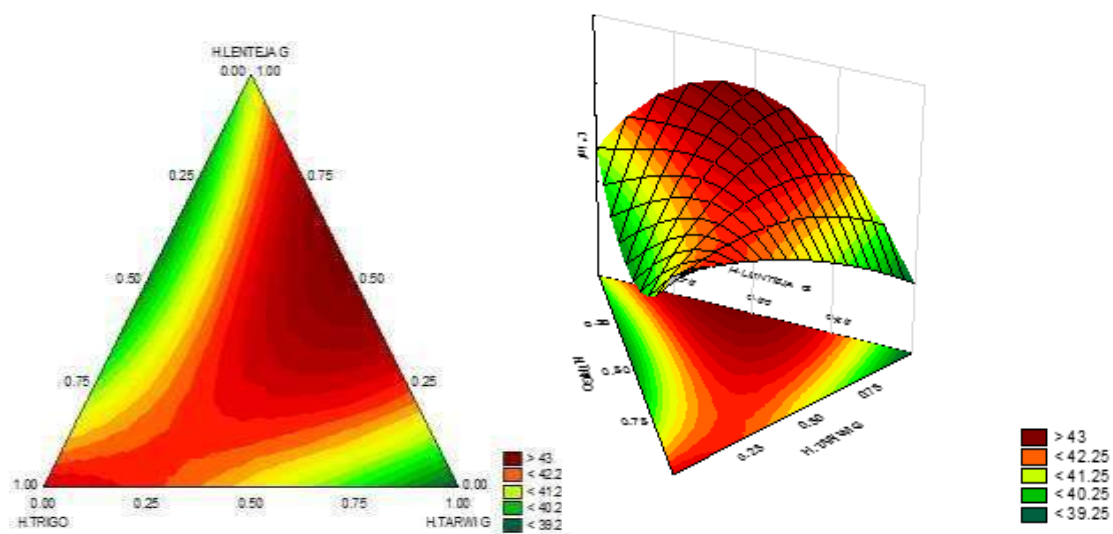


Figura 19. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de L* en el interior

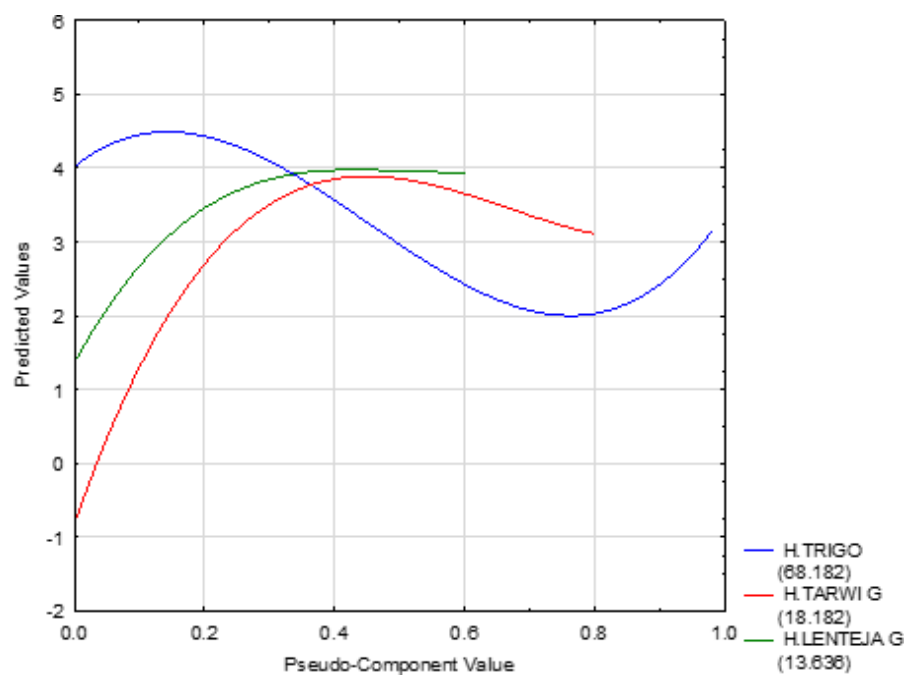
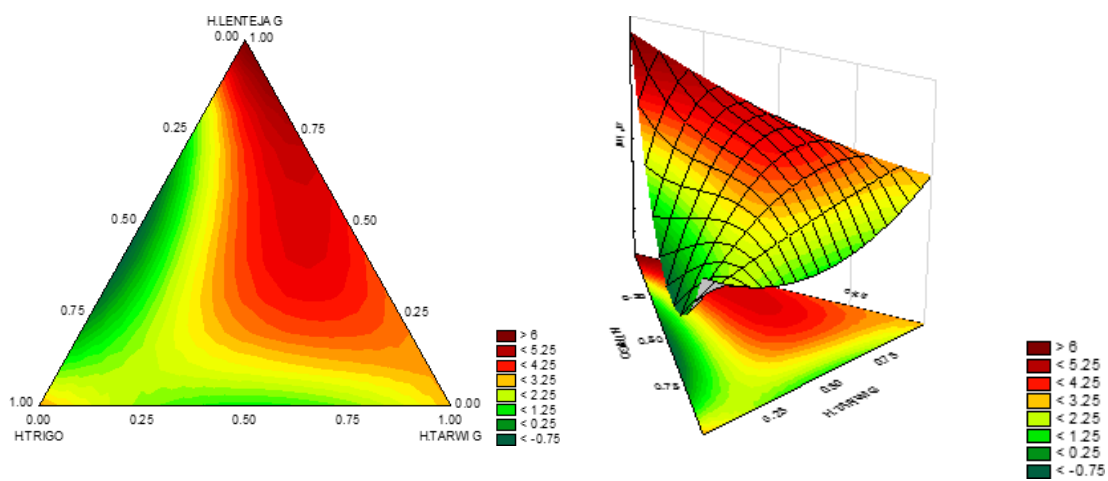


Figura 20. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de a^* en el interior

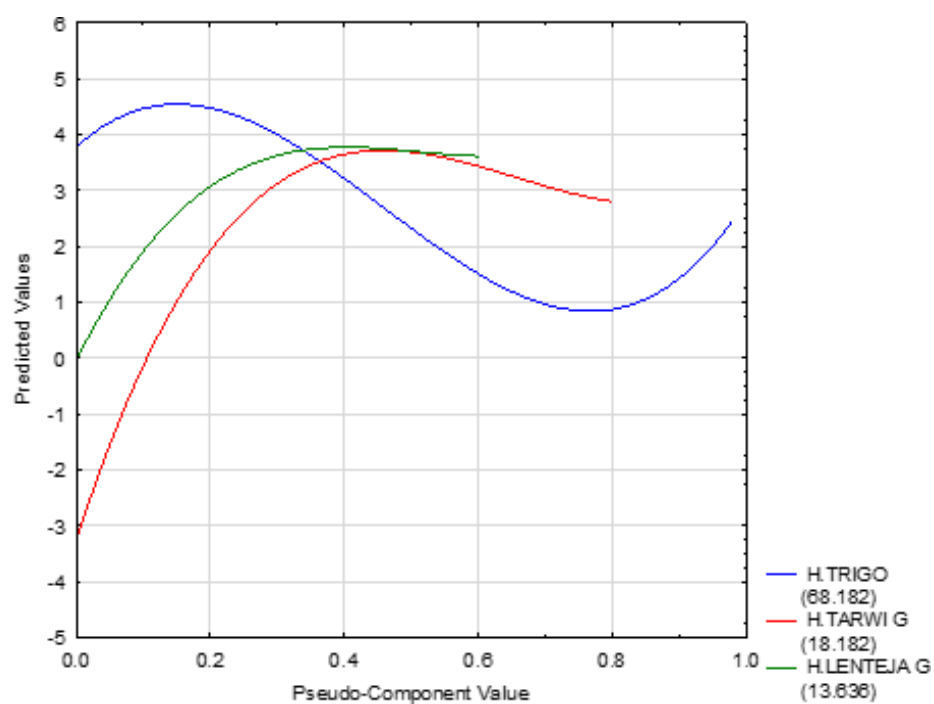
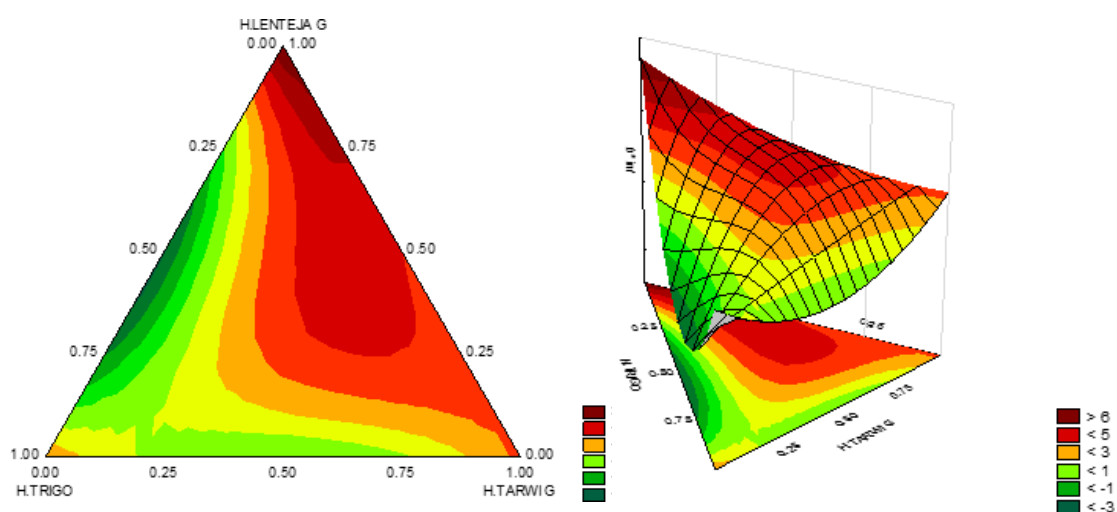


Figura 21. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de b^* en el interior

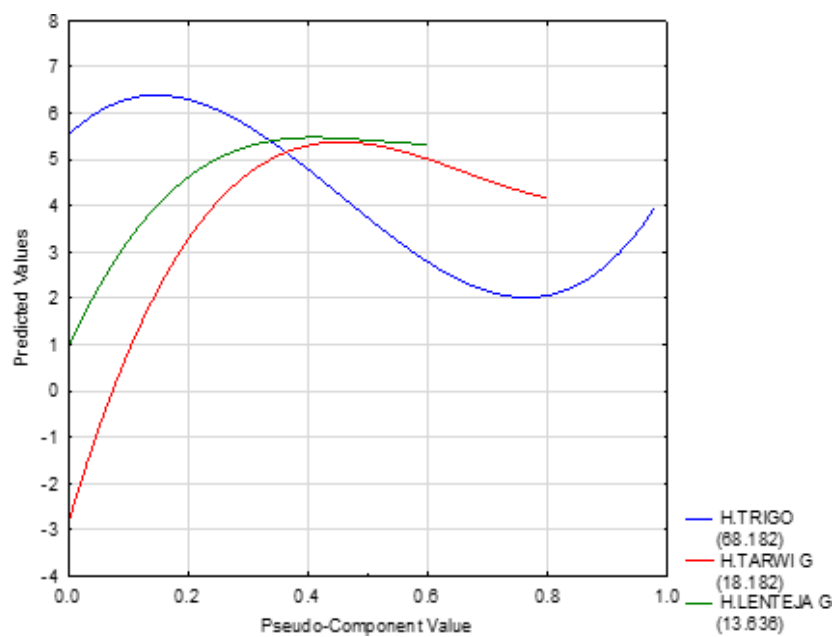
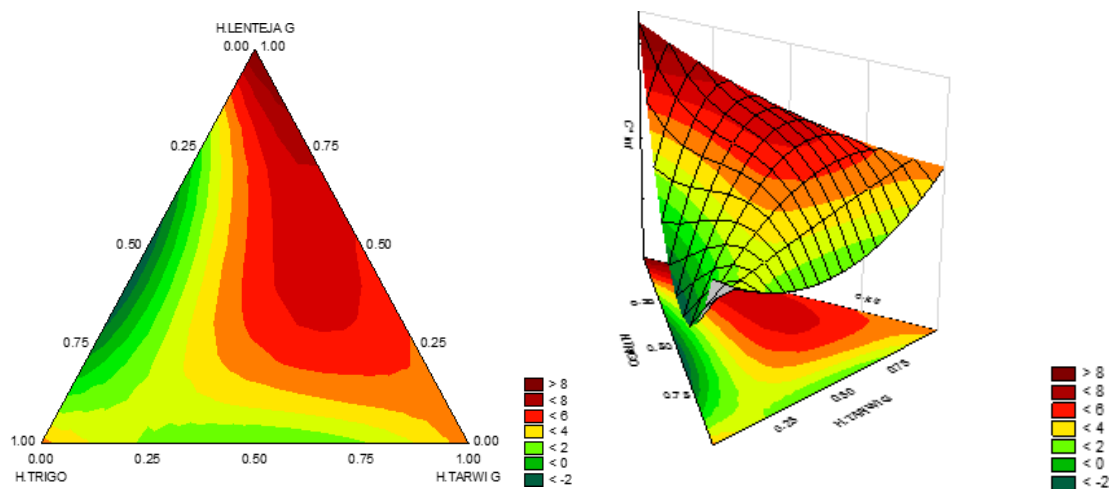


Figura 22. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de C* en el interior

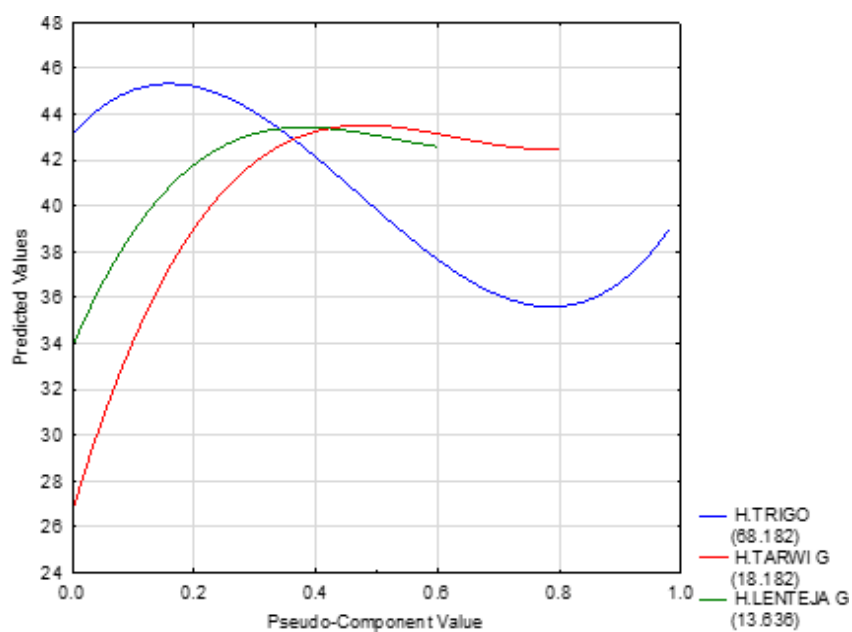
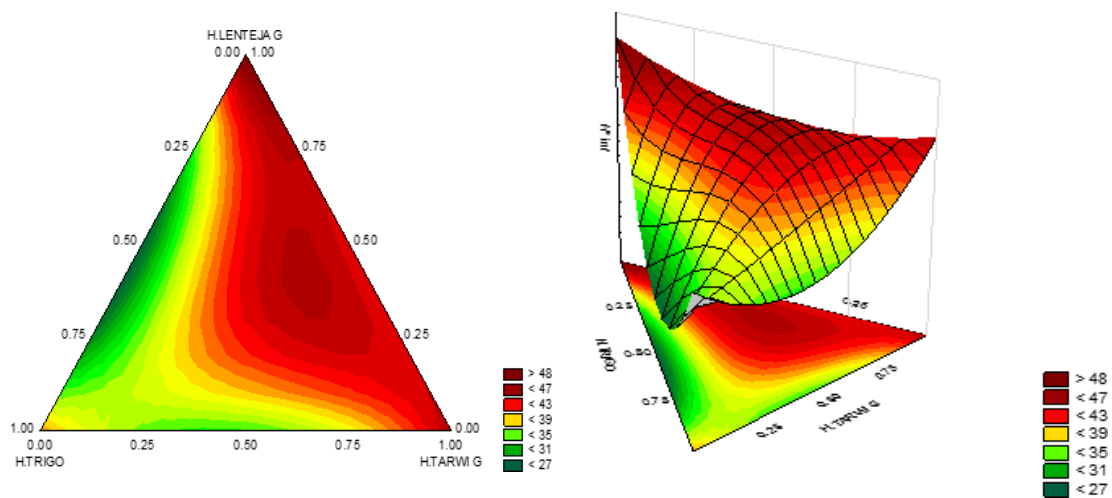


Figura 23. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de H* en el interior

4.1.3. Perfil de textura de los brownies

Los resultados obtenidos del análisis de textura se muestran en la Tabla 8, donde se observan variaciones significativas entre las diferentes formulaciones. La muestra T4 destacó notablemente al mostrar valores más altos en todos los parámetros texturales: dureza (738.840 N), resiliencia (0.190), cohesividad (0.400), elasticidad (5.807 mm), gomosidad (293.450 N) y masticabilidad (0.170 J). Este comportamiento excepcional sugiere que la composición específica de T4, que según datos previos contenía mayor proporción de harina de tarwi germinado, genera una estructura más firme y elástica, probablemente debido a las interacciones proteína-proteína y proteína-polisacáridos que se desarrollan durante el horneado (Zhang et al., 2021).

Las muestras T1, T2 y T6 presentaron valores intermedios de dureza (206.080-299.760 N), mientras que T3, T5, T7 y T8 mostraron los valores más bajos en la mayoría de los parámetros. La resiliencia, que mide la capacidad del producto para recuperar su forma original después de la compresión, fue particularmente baja en T7 y T8 (0.053-0.060), indicando una estructura más frágil. Estos resultados coinciden con estudios que reportan cómo la adición de harinas germinadas puede afectar la red de gluten, modificando las propiedades reológicas de la masa (Wang et al., 2022).

La cohesividad, relacionada con la fuerza de los enlaces internos del producto, mostró un patrón similar al de la dureza, con T4 presentando el valor más alto (0.400) y las demás muestras valores significativamente menores (0.160-0.237). Esta diferencia podría explicarse por el mayor contenido de proteínas y fibra soluble en T4, que

promueven la formación de una matriz más cohesiva durante el horneado (Rocchetti et al., 2023).

La gomosidad y masticabilidad, parámetros importantes para la experiencia sensorial del consumidor, fueron notablemente más altas en T4 (293.450 N y 0.170 J respectivamente), mientras que las demás muestras presentaron valores considerablemente menores (39.572-64.771 N para gomosidad y 0.010-0.027 J para masticabilidad). Estos resultados sugieren que T4 requeriría un mayor esfuerzo de masticación, lo que podría afectar su aceptabilidad sensorial (Chen et al., 2022).

Los datos obtenidos demuestran cómo la composición de las harinas influye significativamente en las propiedades texturales del producto final. La muestra T4, con su perfil textural único, podría representar una formulación interesante para aplicaciones donde se requiera una textura más firme y elástica, mientras que las demás muestras podrían ser más adecuadas para productos que requieran una textura más suave.

Tabla 8. *Análisis del perfil de textura*

Muestra	Dureza (N)	Resiliencia	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (J)
T1	206.080±5.760 ^g	0.087±0.015 ^b	0.237±0.025 ^b	4.400±0.510 ^b	47.900±6.730 ^{cde}	0.027±0.007 ^b
T2	270.300±3.310 ^d	0.067±0.006 ^{bc}	0.210±0.000 ^{bcd}	3.027±0.415 ^c	55.770±0.907 ^{bcd}	0.017±0.005 ^{bc}
T3	258.610±2.140 ^e	0.057±0.015 ^c	0.167±0.045 ^{cd}	3.210±0.250 ^c	42.870±11.160 ^{de}	0.017±0.006 ^{bc}
T4	738.840±3.980 ^a	0.190±0.000 ^a	0.400±0.000 ^a	5.807±0.035 ^a	293.450±3.090 ^a	0.170±0.000 ^a
T5	311.080±3.210 ^b	0.067±0.006 ^{bc}	0.197±0.006 ^{bcd}	2.687±0.135 ^c	60.730±3.380 ^{bc}	0.020±0.000 ^{bc}
T6	299.760±0.561 ^c	0.073±0.007 ^{bc}	0.217±0.007 ^{bc}	3.227±0.085 ^c	64.771±0.642 ^b	0.020±0.000 ^{bc}
T7	255.730±0.257 ^e	0.053±0.005 ^c	0.160±0.010 ^d	2.947±0.006 ^c	41.240±3.180 ^e	0.010±0.000 ^c
T8	227.960±3.110 ^f	0.060±0.000 ^c	0.170±0.000 ^{cd}	2.937±0.210 ^c	39.572±1.193 ^e	0.010±0.000 ^c

Los gráficos de contorno, superficie y trazas se presentan en la Figura 24, los cuales revelan patrones complejos en la dureza de los brownies en función de su composición. Se observa que la máxima dureza (>500 N) se alcanza con formulaciones que contienen entre 25-50% de harina de lenteja germinada, mientras que proporciones superiores al 75% generan una drástica reducción en este parámetro (<2100 N). Este comportamiento no lineal sugiere que la harina de lenteja germinada (HLG) tiene un efecto bifásico: en proporciones moderadas contribuye a la estructura del producto, pero en exceso puede generar fragilidad, probablemente por interferencia con la red de gluten (Wang et al., 2022).

El análisis de trazas muestra que la harina de trigo (HT) mantiene una correlación positiva constante con la dureza, confirmando su importancia clave en la formación de la estructura. Por el contrario, la harina de tarwi germinado (HTG) muestra un efecto menos pronunciado, con coeficientes intermedios. La representación tridimensional destaca que la interacción entre HT y HLG es crítica: cuando HT supera el 60%, la adición de hasta 25% HLG mejora la dureza, pero al reducir HT por debajo del 50%, el mismo incremento de HLG produce efectos negativos. Estos resultados sugieren que, para mantener una textura adecuada, las formulaciones deberían conservar al menos 60% de HT, limitando la HLG a 15-20% y utilizando HTG como complemento proteico (15-20%), lo que permitiría obtener productos con características texturales aceptables sin comprometer su valor nutricional.

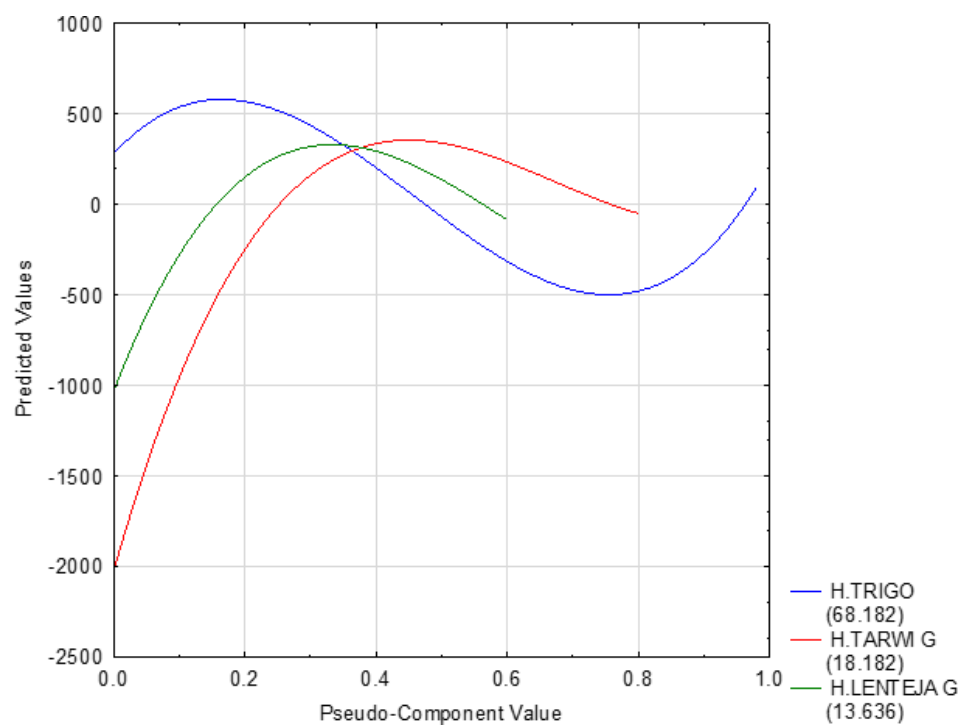
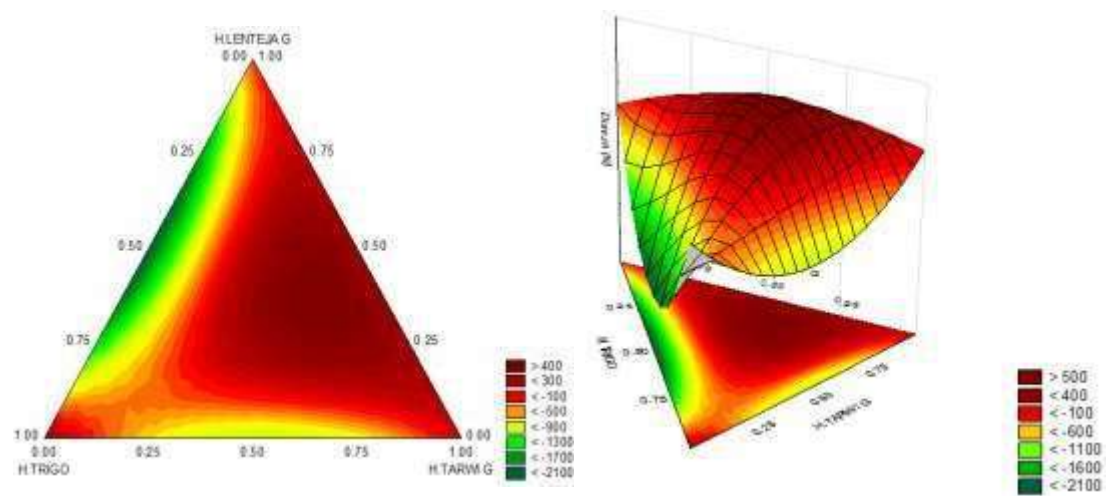


Figura 24. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de dureza

Los gráficos de contorno, superficie y trazas se muestran en la Figura 25, donde la resiliencia (capacidad de recuperación tras la compresión) se ve significativamente afectada por la composición de las harinas. Los valores más altos (>0.1) se observan en formulaciones con predominio de harina de trigo (HT $>70\%$) y bajos porcentajes de harina de lenteja germinada (HLG $<15\%$). Este comportamiento destaca el papel fundamental de la red de gluten en la elasticidad del producto, como han reportado recientemente Martínez et al. (2023). La superficie de respuesta revela que cuando la HLG supera el 25%, la resiliencia disminuye drásticamente (valores negativos hasta -0.525), probablemente debido a la interferencia de las proteínas de leguminosa con la estructura del gluten.

El análisis de trazas evidencia que la harina de trigo es el principal contribuyente positivo a la resiliencia (coeficiente de $0.2-0.3$), mientras que la HLG muestra el mayor efecto negativo (coeficiente de -0.5). La harina de tarwi germinado (HTG) presenta un impacto intermedio, pero aún negativo (coeficiente de -0.2), lo que sugiere que ambas harinas germinadas afectan la capacidad de recuperación del producto, aunque en distinto grado. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Rosell (2021) sobre el efecto de harinas alternativas en las propiedades viscoelásticas de masas. Para mejorar esta propiedad, los datos sugieren reducir la HLG a $<10\%$ y mantener la HTG en $\leq 15\%$, priorizando la harina de trigo como componente estructural principal. Esta optimización permitiría obtener productos con mejor textura sin sacrificar completamente los beneficios nutricionales de las harinas germinadas, aunque como muestran otros análisis, requiere un cuidadoso equilibrio para no comprometer la aceptabilidad sensorial.

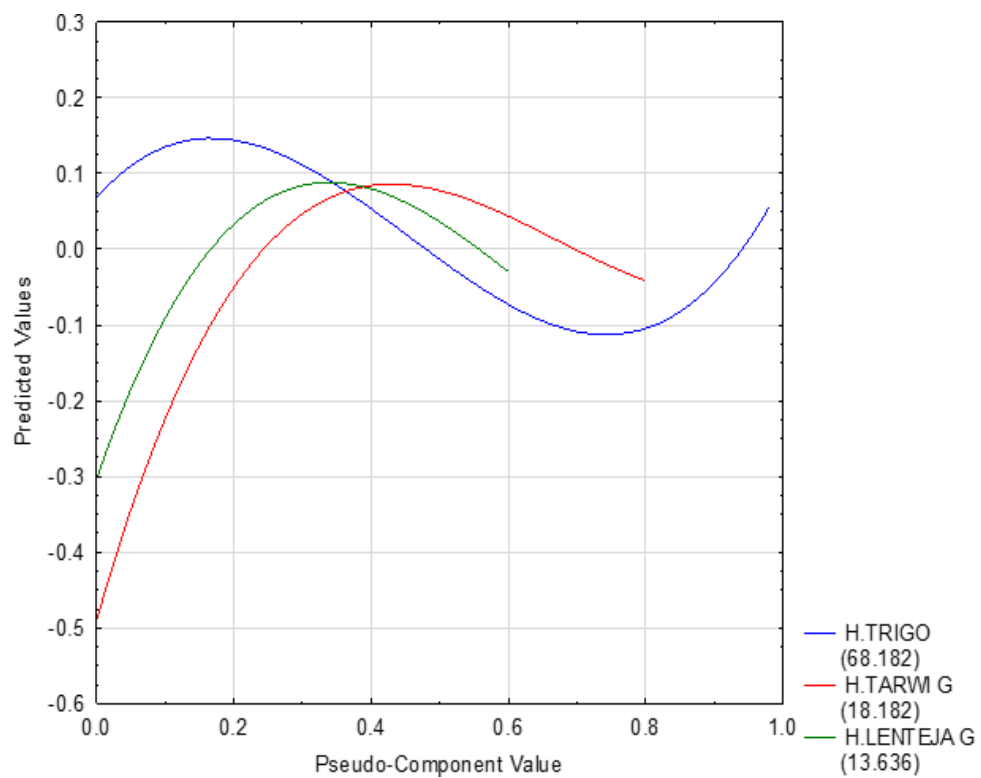
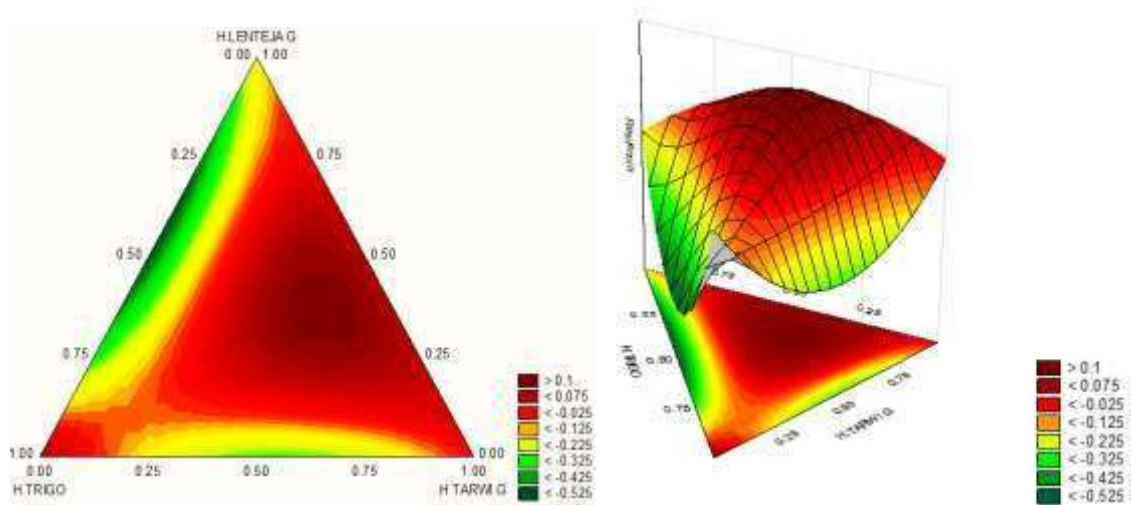


Figura 25. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de resiliencia

En la Figura 26, se presenta los gráficos del diseño de mezclas que revelan que la cohesividad (capacidad de mantener la integridad estructural) presenta una marcada dependencia de la composición de harinas. Los valores más altos (>0.2) se concentran en formulaciones con alto contenido de harina de trigo (HT $>70\%$) y proporciones moderadas de harina de tarwi germinado (HTG 15-20%), mientras que el incremento de harina de lenteja germinada (HLG $>25\%$) genera una drástica reducción en este parámetro (valores negativos hasta -0.7). Este comportamiento refleja la importancia de la red de gluten en la cohesión del producto, como han documentado recientemente Gómez et al. (2023).

El análisis de trazas muestra que la HT ejerce el mayor efecto positivo (coeficiente de 0.3-0.4), mientras que la HLG presenta la mayor influencia negativa (coeficiente de -0.6). La HTG muestra un impacto neutro o ligeramente positivo (coeficiente de 0.1), lo que sugiere que podría usarse para complementar las propiedades de la HT sin comprometer significativamente la cohesión. Estos resultados coinciden con los hallazgos de Rosell (2021) sobre la capacidad de ciertas harinas alternativas para interactuar sinérgicamente con el gluten. Para mejorar esta propiedad se sugiere mantener la HT como componente principal ($>65\%$), 2), utilizar HTG como complemento proteico (15-20%), y 3) limitar la HLG a $\leq 15\%$. Este equilibrio permitiría obtener productos con adecuada cohesión sin sacrificar completamente los beneficios nutricionales de las harinas germinadas, aunque como muestran otros análisis sensoriales, requiere ajustes paralelos para garantizar la aceptabilidad global del producto.

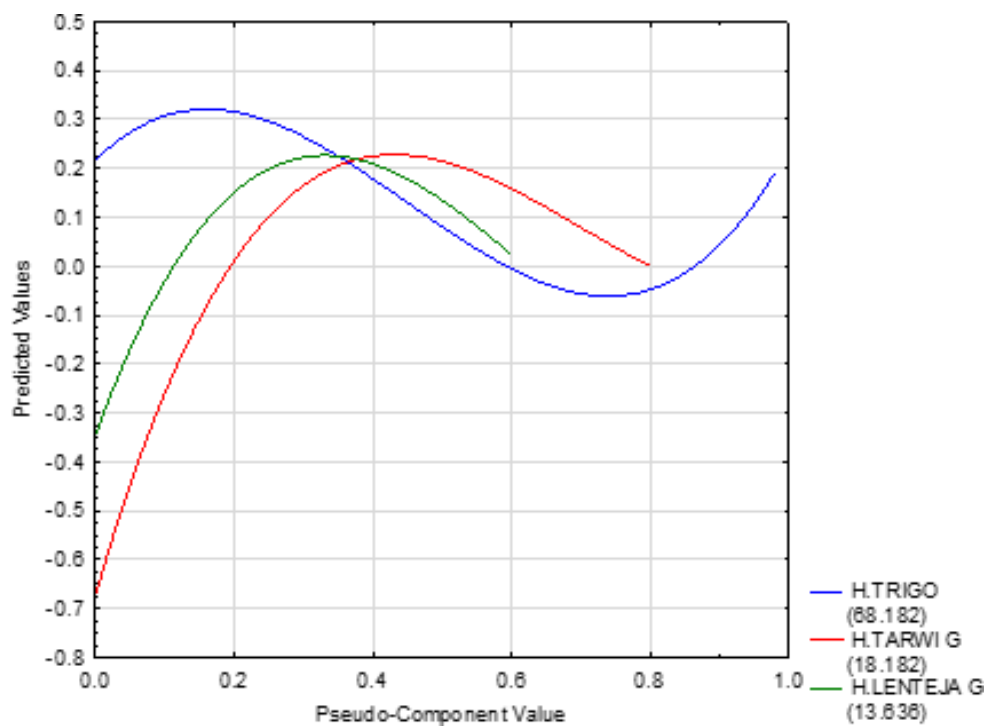
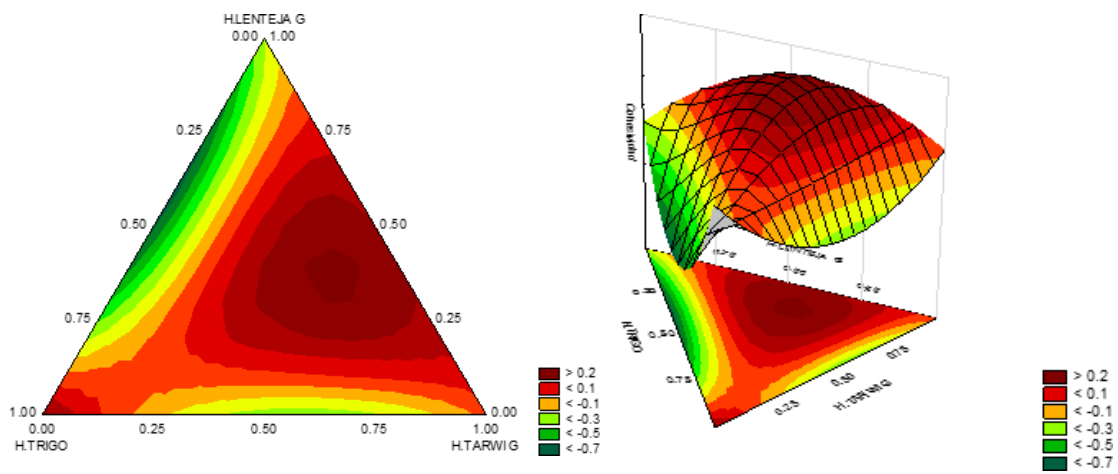


Figura 26. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de cohesividad

La Figura 27, presenta los grafios de contorno, superficie y trazas. Respecto al gráfico de contorno correspondiente a la variable elasticidad del diseño de mezclas de harinas. Se representan las combinaciones proporcionales entre harina de trigo (HT), harina de tarwi (HTG) y harina de lenteja (HLG). En esta figura se observa que los valores más bajos de elasticidad (zonas en verde, inferiores a -10) se encuentran en las mezclas con alta proporción de harina de lenteja, mientras que los valores más altos (en rojo, mayores a 4) se localizan en zonas intermedias con predominancia de harina de trigo y tarwi. Esto sugiere que una menor proporción de harina de lenteja favorece una mayor elasticidad del producto., La figura de superficie tridimensional para la variable elasticidad, permite visualizar en tres dimensiones la respuesta de elasticidad a diferentes combinaciones de harinas. Se observa una superficie con una profunda en la zona con alta proporción de harina de lenteja, coincidiendo con los valores más negativos de elasticidad. En cambio, las zonas elevadas (superficie roja) corresponden a combinaciones con mayor contenido de harina de trigo y tarwi, asociadas con una mayor elasticidad. Este gráfico confirma la tendencia observada en el gráfico de contorno, evidenciando el efecto negativo de la harina de lenteja sobre esta propiedad textural.

La Figura de trazas, donde se analiza el efecto individual de cada componente del sistema. La harina de trigo (línea azul) muestra un comportamiento no lineal, alcanzando un valor máximo de elasticidad a una proporción intermedia, lo que indica un efecto positivo moderado. La harina de tarwi geminada (línea roja) tiene un efecto más constante y ligeramente positivo a medida que aumenta su proporción. En cambio, la harina de lenteja germinada (línea verde) tiene un efecto claramente negativo sobre la elasticidad, con una fuerte disminución en los valores a medida que su proporción aumenta, lo cual concuerda con los resultados obtenidos en los otros dos gráficos.

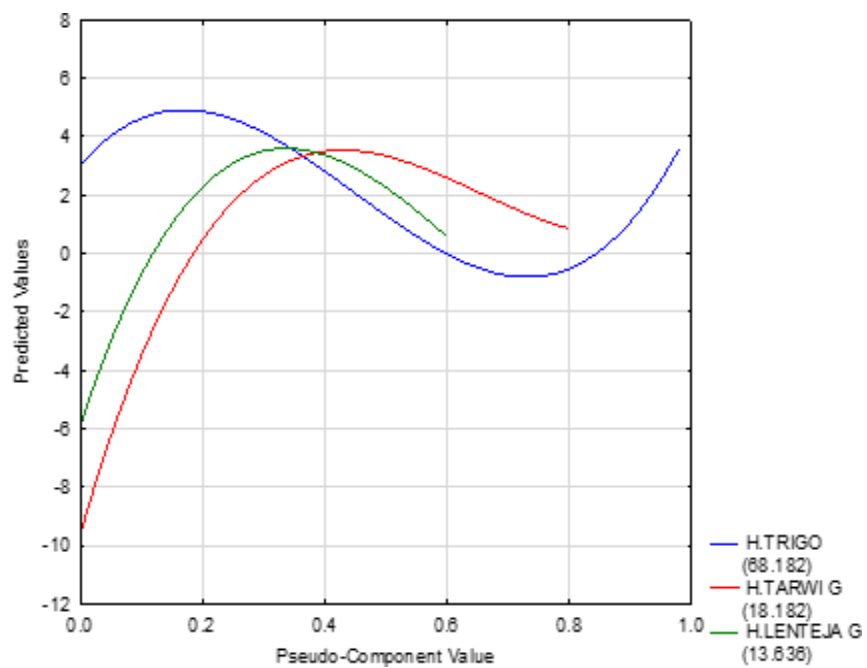
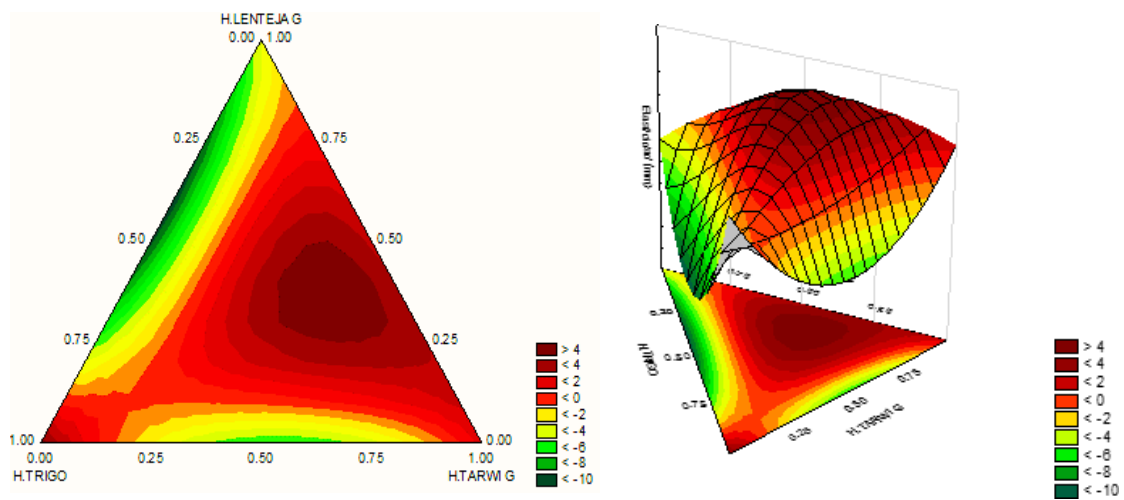


Figura 27. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de elasticidad

La Figura 28, presenta los grafios de contorno, superficie y trazas. La Figura de contorno correspondiente a la variable gomosidad en un diseño de mezclas con harinas de trigo (HT), tarwi (HTG) y lenteja (HLG). Esta figura muestra cómo varía la gomosidad en función de las proporciones relativas de los tres componentes. Se observa que los valores más bajos de gomosidad (zonas en verde, inferiores a -1100) se presentan en mezclas con alta proporción de harina de lenteja. Por otro lado, las zonas con mayor gomosidad (en rojo, superiores a 200) se encuentran en formulaciones con predominancia de harina de trigo y tarwi. Esto indica que la harina de lenteja reduce considerablemente la gomosidad del producto.

La figura de superficie tridimensional para la variable gomosidad visualiza la respuesta en tres dimensiones a lo largo de las proporciones de los componentes. La superficie muestra un comportamiento ondulado, con una depresión profunda en la región correspondiente a altas concentraciones de harina de lenteja, lo que coincide con los menores valores de gomosidad. A medida que aumentan las proporciones de harina de trigo y tarwi, se observa un incremento en la gomosidad, evidenciado por los picos en la parte superior de la superficie. La figura de trazas, la HT muestra una influencia positiva no lineal, con un valor máximo en los extremos. La HTG tiene un efecto más constante, pero claramente positivo, aumentando la gomosidad a medida que incrementa su proporción. En contraste, la HLG presenta un efecto altamente negativo sobre la gomosidad, disminuyendo fuertemente los valores cuando su proporción en la mezcla es mayor.

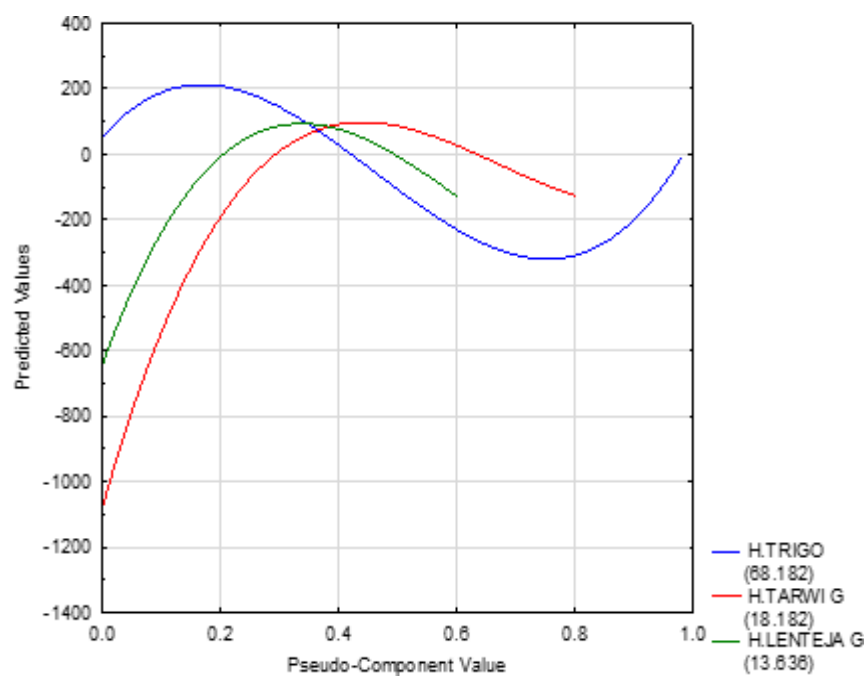
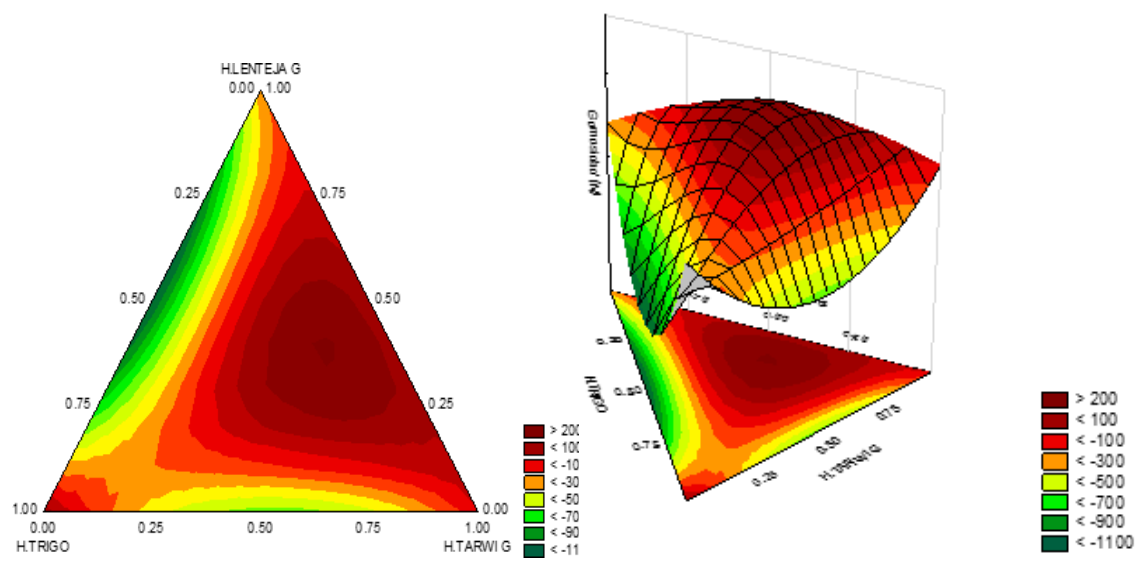


Figura 28. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de gomosidad

La Figura 29, presenta los grafios de contorno, superficie y trazas, donde el grafico de contorno para la variable masticabilidad. En este gráfico se aprecia que los valores más bajos de masticabilidad (inferiores a -0.7) se asocian con mezclas con alta proporción de HLG, mientras que las combinaciones que contienen mayor cantidad de HT y HTG muestran valores positivos de masticabilidad (mayores a 0.1). Esto sugiere que la inclusión de harina de lenteja reduce notablemente esta propiedad textural, mientras que las otras dos harinas contribuyen a su incremento. El gráfico de superficie tridimensional que representa la variable masticabilidad en función de las proporciones de los tres componentes del sistema. La superficie muestra una zona deprimida en la región donde predomina la harina de lenteja, lo cual corresponde a los valores negativos más bajos de masticabilidad. Por el contrario, se observa un incremento en la altura de la superficie en las regiones donde aumentan las proporciones de harina de trigo y tarwi, lo que indica que estas favorecen la masticabilidad del producto final.

El gráfico de trazas para la variable masticabilidad, la HT presenta un comportamiento no lineal, con valores de masticabilidad positivos en proporciones intermedias y una ligera disminución en los extremos. La HTG muestra una tendencia similar, pero con un efecto positivo más moderado. Por su parte, la HLG evidencia un efecto negativo considerable, disminuyendo rápidamente la masticabilidad conforme aumenta su proporción en la mezcla.

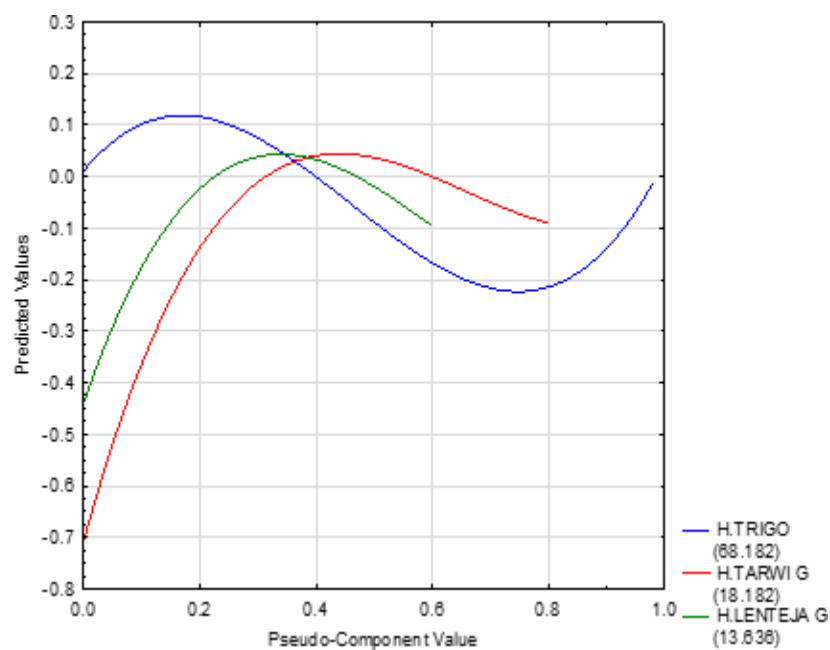
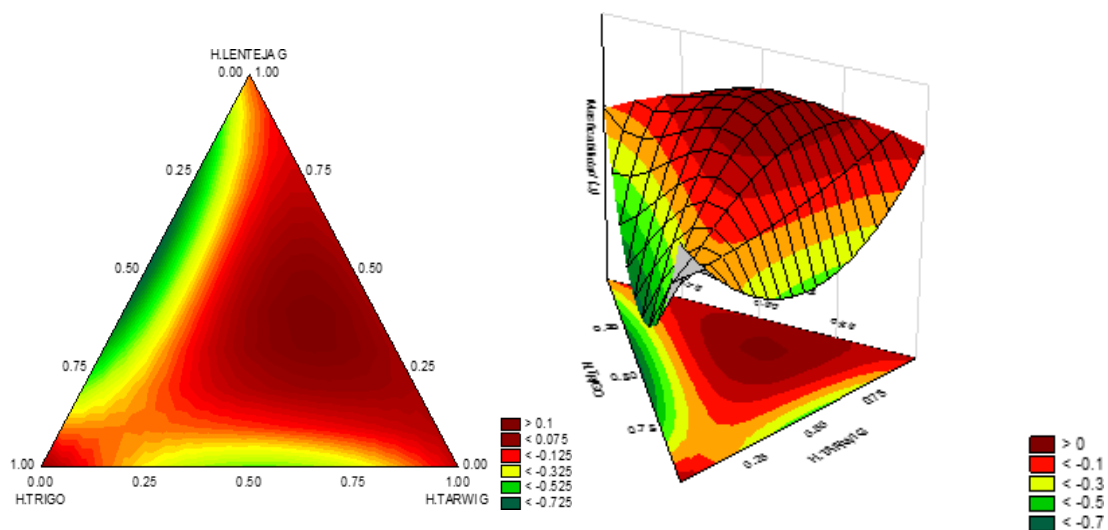


Figura 29. Gráfico de contorno y de trazas para la variable de masticabilidad

4.1.4. Compuestos bioactivos de los brownies

En la Tabla 9 se presenta los datos de los compuestos bioactivos. Los resultados revelan diferencias significativas en el contenido de compuestos bioactivos entre las distintas formulaciones. La capacidad antioxidante mostró un rango considerable, desde 132.060 $\mu\text{mol TE/g}$ en T1 hasta 612.600 $\mu\text{mol TE/g}$ en T8. Este incremento de casi 5 veces en la actividad antioxidante entre las muestras extremas destaca el impacto de la composición de las harinas en esta propiedad funcional. Las muestras T7 y T8 presentaron los valores más altos (588.300 y 612.600 $\mu\text{mol TE/g}$ respectivamente), sugiriendo que sus formulaciones específicas, probablemente con mayor proporción de harinas germinadas, favorecen la retención de compuestos antioxidantes (Pérez-Jiménez et al., 2022).

El contenido de polifenoles totales varió entre 22.056 mg GAE/g en T2 y 33.730 mg GAE/g en T8. Es interesante notar que mientras T1 mostró un alto contenido de polifenoles (33.408 mg GAE/g) pero baja capacidad antioxidante, las muestras T7 y T8 combinaron altos valores en ambos parámetros. Esta aparente discrepancia podría explicarse por diferencias en el perfil específico de compuestos fenólicos presentes, donde algunos antioxidantes no fenólicos (como ciertos péptidos o carotenoides) podrían estar contribuyendo significativamente a la actividad antioxidante (Granato et al., 2023).

Los resultados sugieren que el proceso de germinación aplicado a las harinas de tarwi y lenteja incrementa notablemente la capacidad antioxidante, posiblemente a través de la activación de enzimas que liberan compuestos bioactivos durante este proceso (Benincasa et al., 2021). Este efecto es particularmente evidente al comparar T1 (con

menor proporción de harinas germinadas) con las muestras T7 y T8 (con mayor proporción).

La correlación entre los parámetros no fue lineal en todas las muestras, lo que indica que diferentes mecanismos antioxidantes pueden estar operando. Algunas muestras con contenido polifenólico similar mostraron diferencias marcadas en capacidad antioxidante, sugiriendo la presencia de antioxidantes no fenólicos o diferencias en la biodisponibilidad de los compuestos (Shahidi et al., 2022).

Las formulaciones T7 y T8, con su alto potencial antioxidante, podrían ofrecer beneficios para la salud al contribuir a la reducción del estrés oxidativo en el organismo. Sin embargo, es necesario considerar que el procesamiento térmico durante el horneado puede afectar la estabilidad de estos compuestos bioactivos (Liang et al., 2023).

Tabla 9. *Compuestos bioactivos (Capacidad antioxidante y polifenoles)*

Muestra	Capacidad antioxidante	Polifenoles
T1	132.060±7.080 ^d	33.408±0.976 ^a
T2	266.800±19.800 ^c	22.056±1.237 ^b
T3	379.040±11.060 ^b	22.226±0.776 ^b
T4	397.580±7.710 ^b	23.822±0.625 ^b
T5	410.600±27.100 ^b	22.526±0.954 ^b
T6	395.400±29.900 ^b	25.817±1.603 ^b
T7	588.300±29.800 ^a	33.590±3.350 ^a
T8	612.600±45.600 ^a	33.730±1.870 ^a

Los gráficos de contorno y superficie (Figura 30) revelan que la capacidad antioxidante de los brownies varía significativamente según la composición de harinas utilizadas. La máxima actividad antioxidante (>600 $\mu\text{mol TE/g}$) se obtiene con

formulaciones que contienen entre 25-50% de harina de lenteja germinada (HLG), demostrando el importante aporte de compuestos bioactivos de esta leguminosa. Este comportamiento coincide con estudios que reportan el incremento de polifenoles y actividad antioxidante durante el proceso de germinación en lentejas (Gutiérrez-Torres et al., 2021). Por el contrario, la harina de trigo muestra una contribución limitada, con valores que disminuyen a medida que aumenta su proporción en la mezcla.

La superficie de respuesta destaca una relación no lineal donde el incremento de HLG hasta un 30-40% produce mejoras exponenciales en la capacidad antioxidante, mientras que proporciones superiores al 50% no generan aumentos significativos adicionales. Este efecto de saturación podría deberse a limitaciones en la extracción o estabilidad de los compuestos antioxidantes durante el procesamiento térmico (Pérez-Jiménez et al., 2022). La harina de tarwi germinado (HGT) también contribuye positivamente, aunque en menor medida que la lenteja, lo que sugiere diferencias en el perfil de compuestos bioactivos entre ambas leguminosas.

El análisis de trazas confirma estos patrones: mientras HLG muestra un claro efecto positivo (coeficiente de +1.10 en su rango óptimo), la harina de trigo tiene un impacto negativo (-300) y HGT un aporte intermedio (+0.50). La formulación predicha (68.2% HT, 18.2% HGT, 13.6% HGL) alcanza valores moderados de capacidad antioxidante ($\sim 400 \mu\text{mol TE/g}$), indicando que para productos con mayor actividad sería necesario incrementar HLG hasta 25-30%, aunque esto requeriría ajustes paralelos para mantener la aceptabilidad sensorial.

El uso de 25-30% de HLG, combinado con 15-20% de HGT, permitiría obtener brownies con alta actividad antioxidante sin comprometer excesivamente sus características tecnológicas. Sin embargo, el desafío sigue siendo equilibrar esta propiedad con otros atributos de calidad, ya que como muestran los análisis sensoriales previos, el exceso de harinas germinadas puede afectar negativamente la textura y el flavor del producto final.

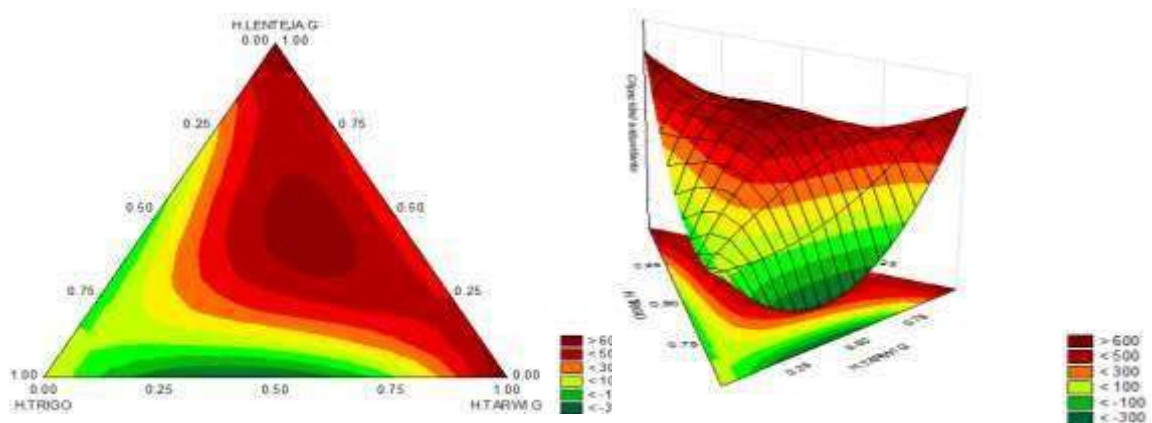


Figura 30. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de Capacidad antioxidante

La figura 31, muestran los gráficos de contorno, superficie y de trazas, que revelan una relación directa entre el contenido de harina de lenteja germinada (HLG) y los niveles de polifenoles totales. Se observa que las formulaciones con mayor proporción de esta harina (25-50%) presentan los valores más altos (>30 mg GAE/g), demostrando su potencial como fuente de estos compuestos bioactivos. Este comportamiento concuerda con estudios que reportan incrementos significativos en polifenoles durante la germinación de leguminosas (Gutiérrez-Torres et al., 2021). La superficie de respuesta muestra un patrón no lineal, donde el aumento de polifenoles se hace más pronunciado al superar el 20% de HLG, sugiriendo un efecto umbral en la liberación de estos compuestos.

El análisis de trazas confirma que mientras la harina de trigo muestra una contribución limitada (coeficiente cercano a 0), la HLG presenta un marcado efecto positivo (coeficiente de 0.7-0.8 en su rango óptimo). La harina de tarwi germinado también contribuye, aunque en menor medida (coeficiente de 0.5), lo que podría deberse a diferencias en el perfil fenólico entre ambas leguminosas (Pérez-Jiménez et al., 2022). Estos resultados tienen importantes implicaciones para el desarrollo de productos funcionales. El uso de 25-30% de HLG permitiría obtener brownies con alto contenido de polifenoles, aunque debe considerarse que este incremento podría afectar otras características sensoriales, como se observó en análisis previos.

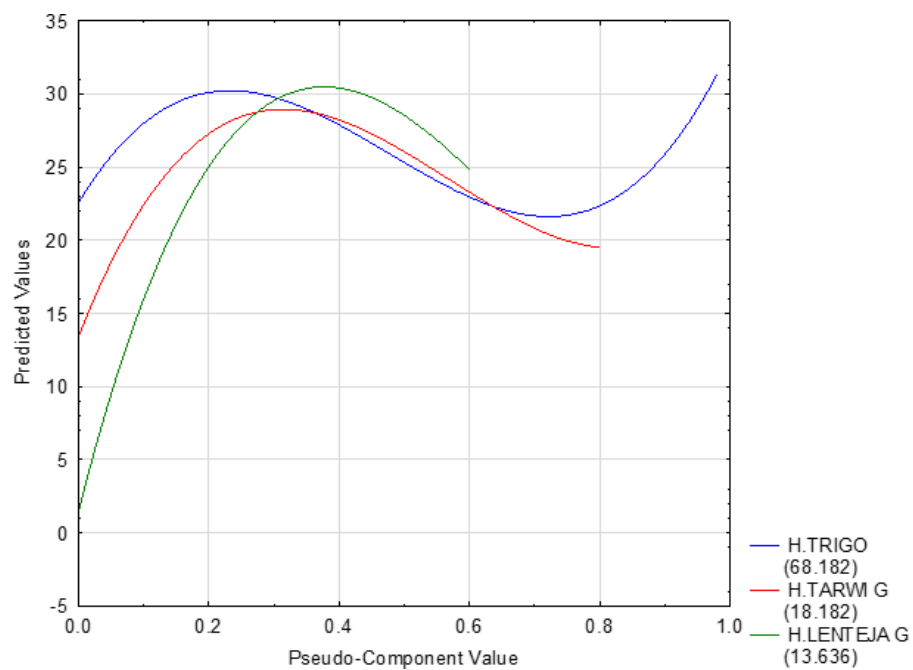
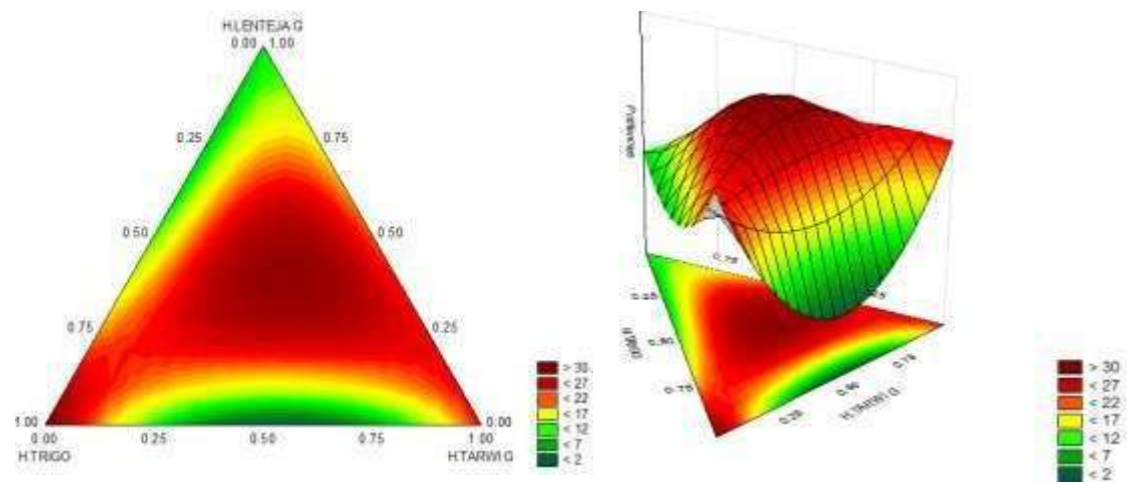


Figura 31. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de Polifenoles

4.1.5. Evaluación Sensorial

4.1.5.1. Aspectos demográficos de los consumidores

El estudio de análisis sensorial contó con la participación de 115 consumidores (Tabla 10), mostrando una distribución equilibrada entre géneros con un 53.91% de participantes masculinos (n=62) y 46.09% femeninos (n=53). Esta proporción cercana al 1:1 permite considerar que los resultados sensoriales no presentan un sesgo significativo asociado al género, aunque la ligera mayoría masculina podría influir en ciertos atributos sensoriales, ya que diversos estudios han reportado diferencias en la percepción de sabores y texturas entre hombres y mujeres. La muestra estuvo predominantemente conformada por población joven (Tabla 11), con un 58.26% de participantes entre 18-20 años (n=67) y 29.57% entre 21-24 años (n=34), sumando así un 87.83% de evaluadores menores de 25 años.

Tabla 10. *Porcentaje del género de los consumidores*

Genero	n	%
Masculino	62	53.91
Femenino	53	46.09
Total	115	100

Tabla 11. *Edad de los consumidores*

Edad	n	%
18-20	67	58.2608696
21-24	34	29.5652174
25-29	10	8.69565217
≥ 30 años	4	3.47826087
Total	115	100

La marcada concentración en grupos jóvenes limita la generalización de los resultados a otros segmentos etarios, particularmente considerando que solo un 3.48% de la muestra ($n=4$) correspondió a personas mayores de 30 años. Esta distribución demográfica resulta relevante ya que las preferencias sensoriales varían sustancialmente con la edad, especialmente en atributos como dulzor, amargor y aceptación de texturas particulares. Además, el escaso representación de adultos podría afectar la interpretación de los resultados para productos con características funcionales, dado que este grupo poblacional suele mostrar mayor interés y aceptación hacia alimentos con beneficios saludables.

4.1.5.2. Método CATA

El análisis CATA (Check-All-That-Apply) reveló diferencias significativas en varios atributos sensoriales entre las distintas formulaciones de brownies (Tabla 12). Los atributos con diferencias estadísticamente significativas ($p<0.05$) incluyeron características visuales como brillo de la corteza ($p=8.92E-09$), corteza opaca ($p=0.0049$) y superficie crujiente ($p=0.0487$), así como características de sabor como amargor ($p=0.0405$) y textura como compactación ($p=0.0446$). Estos hallazgos sugieren que las diferentes formulaciones afectaron notablemente la percepción sensorial de estos atributos clave.

El atributo "Brillo - Corteza" mostró las diferencias más marcadas entre muestras, con T1 (0.443) y T5 (0.426) obteniendo las mayores frecuencias de selección (grupo 'a'), mientras que T3 (0.130) mostró la menor frecuencia (grupo 'c'). Esta variación podría relacionarse con diferencias en la actividad de agua y contenido de lípidos entre formulaciones, factores conocidos por afectar las características superficiales de

productos horneados. El amargor también presentó diferencias significativas, siendo T3 y T6 los más frecuentemente asociados a este atributo (grupo 'a'), lo que podría deberse a su mayor contenido de compuestos fenólicos derivados de las harinas germinadas.

Es notable que varios atributos importantes como "Sabor a chocolate", "Dulce" y "Húmedo" no mostraron diferencias significativas entre muestras ($p > 0.05$), indicando que estas características fueron percibidas de manera similar en todas las formulaciones. Esto sugiere que las diferencias en composición no afectaron sustancialmente estos atributos clave para la aceptabilidad de brownies.

Los resultados del análisis CATA proporcionan información valiosa para la optimización de formulaciones, destacando que: Las diferencias más notables entre muestras se observaron en atributos visuales y de textura más que en características de sabor básico; ciertas formulaciones (especialmente T3 y T6) tendieron a asociarse con atributos potencialmente negativos como mayor amargor y la percepción de atributos fundamentales como sabor a chocolate se mantuvo consistente a través de todas las formulaciones. Es importante destacar los atributos visuales y texturales en la percepción global de productos horneados, y sugieren que las modificaciones en la formulación afectan selectivamente ciertas características sensoriales mientras mantienen otras constantes.

Tabla 12. *Método CATA de los brownies*

Attributes	p-values	T1 (254)	T2 (149)	T3 (461)	T4 (516)	T5 (431)	T6 (303)	T7 (327)	T8 (168)
Brillo - Corteza	8.9205E-09	0.443 (a)	0.235 (bc)	0.130 (c)	0.287 (abc)	0.426 (a)	0.270 (abc)	0.304 (ab)	0.339 (ab)
Corteza Opaca	0.00489919	0.104 (b)	0.226 (a)	0.243 (a)	0.191 (b)	0.104 (b)	0.191 (b)	0.226 (a)	0.130 (b)
Superficie Crujiente	0.04872604	0.313 (b)	0.348 (b)	0.252 (c)	0.287 (b)	0.348 (b)	0.374 (b)	0.409 (a)	0.391 (b)
Superficie Suave	0.05647722	0.217 (a)	0.226 (a)	0.174 (a)	0.157 (a)	0.183 (a)	0.130 (a)	0.096 (a)	0.130 (a)
Olor A Germinado	0.2489858	0.087 (a)	0.061 (a)	0.026 (a)	0.096 (a)	0.104 (a)	0.087 (a)	0.096 (a)	0.061 (a)
Color Marrón	0.89639904	0.687 (a)	0.722 (a)	0.678 (a)	0.687 (a)	0.678 (a)	0.713 (a)	0.661 (a)	0.696 (a)
Dulce	0.79753617	0.643 (a)	0.626 (a)	0.591 (a)	0.652 (a)	0.617 (a)	0.565 (a)	0.635 (a)	0.600 (a)
Amargo	0.0405177	0.304 (b)	0.330 (c)	0.409 (a)	0.313 (c)	0.304 (c)	0.417 (a)	0.287 (c)	0.278 (c)
Sabor A Chocolate	0.14013177	0.800 (a)	0.678 (a)	0.713 (a)	0.704 (a)	0.757 (a)	0.765 (a)	0.678 (a)	0.687 (a)
Insípido	0.48236493	0.026 (a)	0.043 (a)	0.043 (a)	0.061 (a)	0.087 (a)	0.035 (a)	0.052 (a)	0.070 (a)
Húmedo	0.16059537	0.470 (a)	0.409 (a)	0.313 (a)	0.400 (a)	0.426 (a)	0.365 (a)	0.435 (a)	0.374 (a)
Astringente	0.53000282	0.087 (a)	0.096 (a)	0.130 (a)	0.122 (a)	0.148 (a)	0.113 (a)	0.130 (a)	0.096 (a)
Suave	0.22853748	0.565 (a)	0.548 (a)	0.443 (a)	0.470 (a)	0.496 (a)	0.426 (a)	0.478 (a)	0.461 (a)
Duro	0.85445433	0.139 (a)	0.148 (a)	0.174 (a)	0.148 (a)	0.113 (a)	0.174 (a)	0.139 (a)	0.139 (a)
Esponjoso	0.75505445	0.270 (a)	0.226 (a)	0.209 (a)	0.252 (a)	0.217 (a)	0.243 (a)	0.278 (a)	0.278 (a)
Arenoso	0.07730018	0.304 (b)	0.339 (b)	0.443 (a)	0.287 (c)	0.304 (b)	0.313 (b)	0.304 (b)	0.313 (b)
Compacto	0.04461561	0.400 (a)	0.296 (ab)	0.365 (ab)	0.235 (b)	0.313 (ab)	0.304 (ab)	0.313 (ab)	0.278 (ab)

El análisis de correspondencia realizado sobre los datos CATA (Figura 32) revela importantes relaciones entre los atributos sensoriales y las diferentes formulaciones de brownies (T1-T8). El gráfico bidimensional explica el 90.78% de la variabilidad total ($F1=82.31\%$ y $F2=8.47\%$), indicando una adecuada representación de los datos en estas dos dimensiones principales. En el eje F1 (principal), que captura el 82.31% de la variabilidad, se observa una clara separación entre los atributos. El lado izquierdo del gráfico agrupa los brownies T6, T4 y T2 con el atributo "Corteza Opaca", mientras que el lado derecho asocia T5 y T1 con "Brillo en la Corteza" y "Superficie Suave". Esta distribución sugiere que F1 representa principalmente un gradiente de características visuales y texturales superficiales, desde productos con corteza más opaca hasta aquellos con mayor brillo y suavidad.

La formulación T8 aparece cercana al atributo "Superficie Crujiente" en el espacio superior del gráfico, diferenciándose claramente de las demás muestras. Por otro lado, T3 se ubica próxima a "Amargo" y "Compacto", indicando que estos fueron sus atributos distintivos. Esta posición correlaciona bien con los resultados previos del análisis CATA que mostraban a T3 como una de las formulaciones con mayor percepción de amargor. La cercanía espacial entre "Superficie Suave" y T1 sugiere que esta fue una característica distintiva de dicha formulación. Curiosamente, T5 aparece asociada tanto a "Brillo en la Corteza" como a "Superficie Suave", indicando que combinó favorablemente estos dos atributos. La distribución de los puntos muestra que las formulaciones se agrupan según sus características sensoriales predominantes, permitiendo identificar tres grupos: Primer grupo con las formulaciones con corteza opaca (T2, T4, T6, T7 y T8), segundo grupo con formulaciones con superficie brillante/suave (T1, T5) y tercer grupo formado por la formulación con características únicas (T3).

Este análisis confirma y visualiza las diferencias detectadas en el test CATA, proporcionando una representación espacial clara de cómo las distintas formulaciones se relacionan con los atributos sensoriales. La alta varianza explicada por F1 refuerza la importancia de las características visuales y texturales superficiales como factores diferenciadores clave entre las muestras.

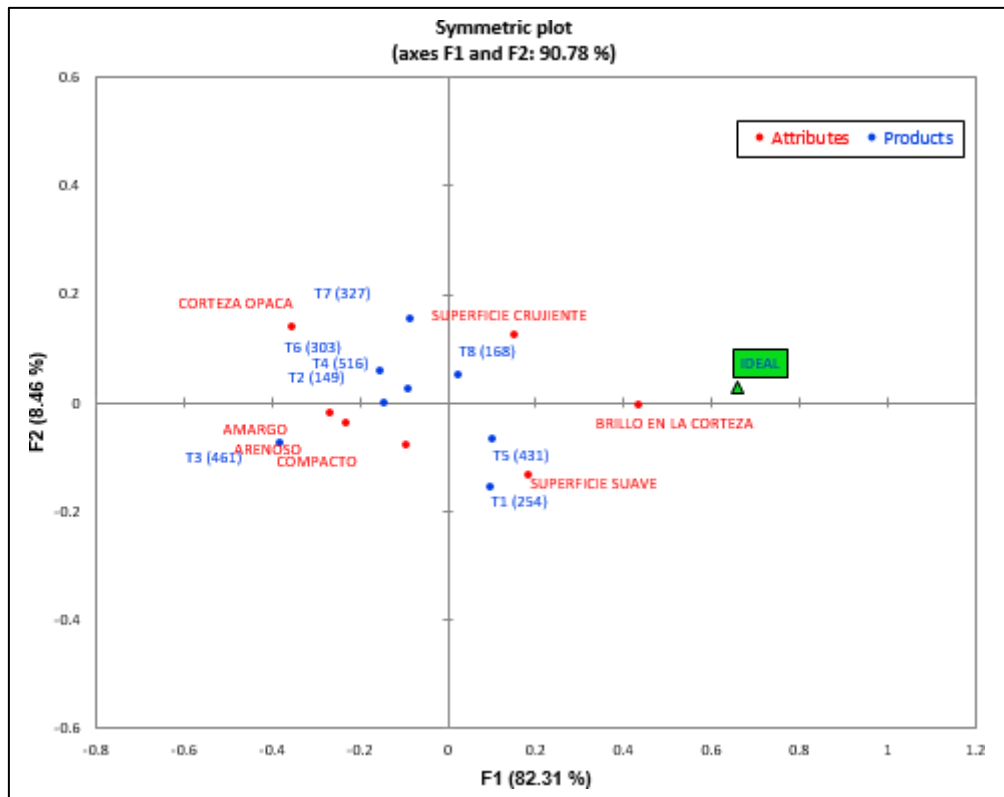


Figura 32. Análisis de correspondencia a los datos obtenidos por el CATA

El mapa sensorial de aceptabilidad obtenido mediante el análisis de Coordenadas principales (Figura 33) revela relaciones fundamentales entre los atributos sensoriales y la preferencia de los consumidores. Los resultados muestran una clara asociación positiva entre la aceptabilidad y atributos como el "Brillo en la Corteza" junto con la "Superficie Suave", indicando que estas características fueron determinantes en la evaluación positiva de los brownies. Por el contrario, atributos como "Compacto", "Amargo" y "Arenoso" aparecieron distantes del vector de aceptabilidad, sugiriendo su influencia negativa en la

percepción global del producto. La "Superficie Crujiente" se ubicó en posición neutral, sin mostrar una relación marcada con la aceptación o rechazo. Estos hallazgos destacan la importancia prioritaria de las características visuales (brillo) y texturales (suavidad) sobre otros atributos en la formulación de brownies, mientras que el amargor y las texturas compactas o arenosas emergieron como factores limitantes de la preferencia. El análisis confirma que, para este tipo específico de producto, los consumidores valoraron principalmente la apariencia atractiva y textura suave, mientras que mostraron menor tolerancia a sabores amargos y texturas densas o granuladas. Estos insights proporcionan directrices valiosas para el desarrollo de formulaciones que equilibren las propiedades nutricionales con las características sensoriales más apreciadas por el consumidor.

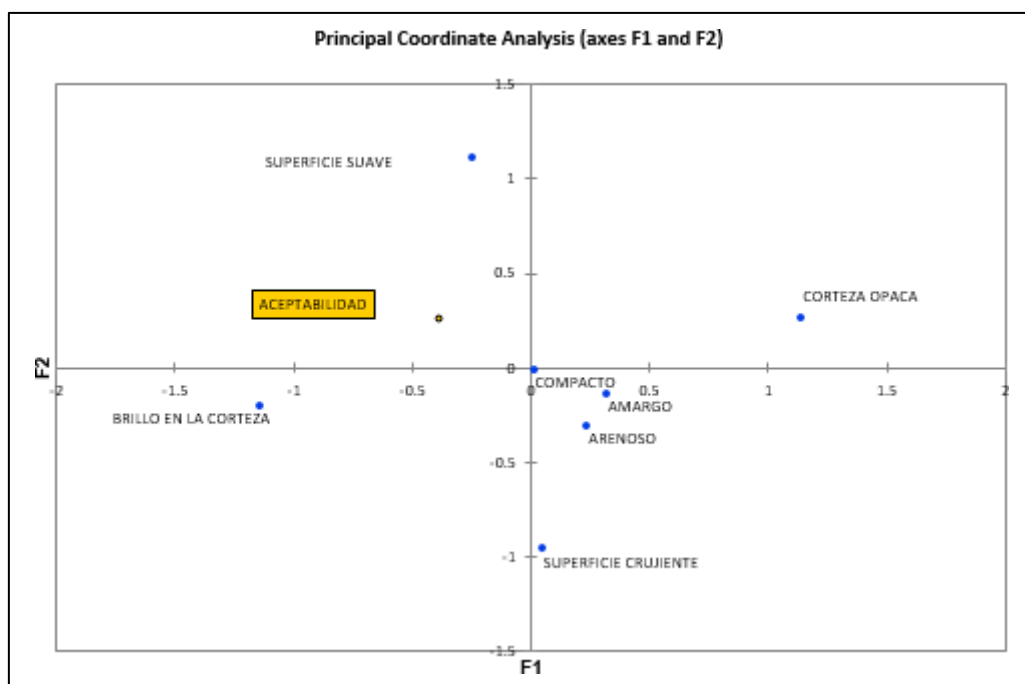


Figura 33. Mapa sensorial de aceptabilidad de los brownies

La figura 34, presenta un análisis de Mean Drops (caída media) que cuantifica la importancia relativa de diversos atributos sensoriales en la percepción de los brownies. Los resultados muestran que el "Brillo en la Corteza" aparece repetidamente asociado a

múltiples grupos de atributos, destacando su papel central en la evaluación sensorial. Este atributo visual se relaciona tanto con características positivas ("Superficie Suave") como con otras menos deseables ("Corteza Opaca"), sugiriendo que su influencia trasciende categorías sensoriales. La "Superficie Crujiente" emerge como otro atributo clave, vinculado al sabor "Dulce", lo que indica una posible asociación psicológica entre esta textura y la percepción de dulzor. Por otro lado, la combinación "Corteza Opaca + Color Marrón" aparece asociada al "Olor a Germinado", revelando un patrón de características que podrían relacionarse con formulaciones con mayor contenido de harinas germinadas.

La presencia de términos como "P(No)l(Ves)" y "P(Ves)l(No)" sugiere la inclusión de métricas de probabilidad condicional en el análisis, posiblemente indicando la frecuencia con que ciertos atributos aparecen juntos o se excluyen mutuamente en las evaluaciones. Este enfoque permite identificar no solo atributos individuales importantes, sino también interacciones clave entre ellos que podrían influir en la aceptabilidad global del producto. En conjunto, el análisis destaca que las características visuales (brillo/opacidad) y texturales (suavidad/crujencia) son determinantes primarios en la percepción sensorial, mientras que atributos como el olor a germinado parecen tener un rol más secundario o condicionado a otras propiedades del producto.

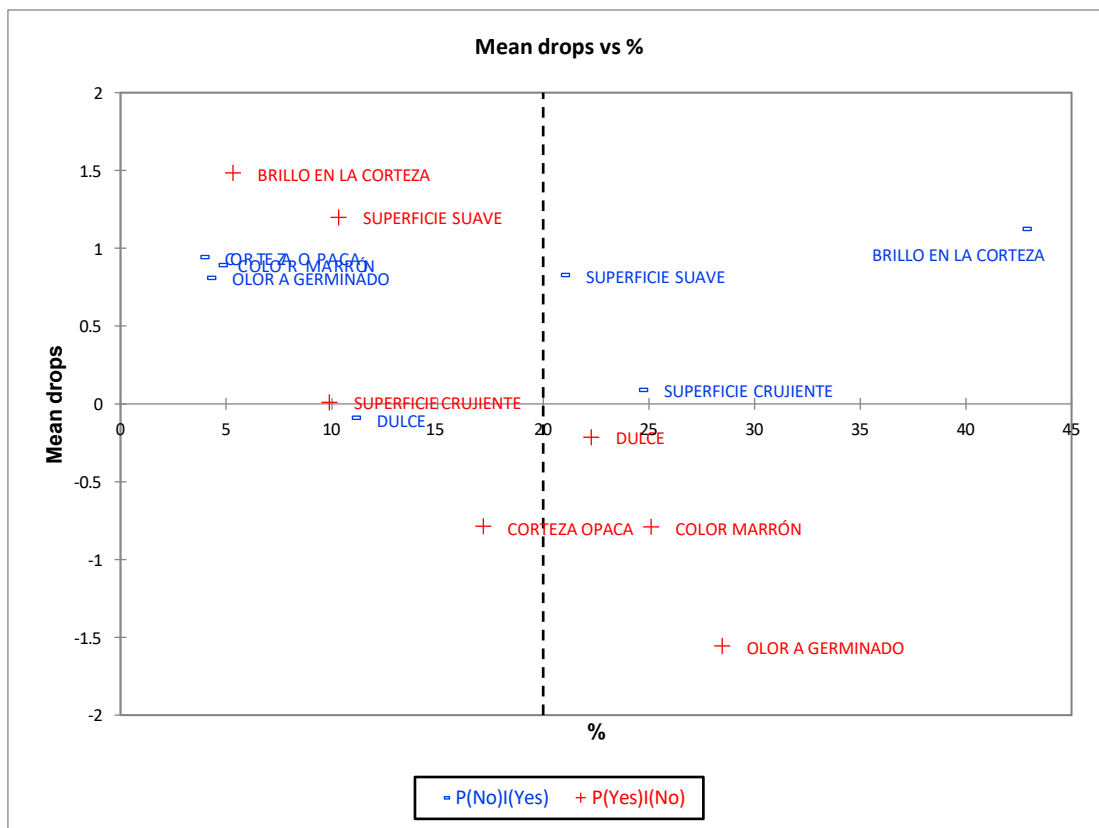


Figura 34. Análisis de Importancia Relativa de Atributos Sensoriales en Brownies mediante Mean Drops (%)

4.1.5.3. Aceptabilidad

La figura 35 muestra los resultados del análisis sensorial de aceptabilidad de los brownies evaluados mediante una escala hedónica. La muestra T1 y T7 destacaron ligeramente por tener una puntuación más alta (> 6 puntos), indicando una mayor aceptación por parte de los consumidores, lo que probablemente se debe a su equilibrio óptimo entre características sensoriales como textura, sabor y aroma, aunque fueron similares a T2, T4 y T7. Las formulaciones T2, T4, T5, T7 y T8 obtuvieron puntuaciones intermedias (5.5 puntos), sin diferencias significativas entre ellas, sugiriendo una aceptación moderada pero consistente. Por otro lado, las muestras T3 y T6 presentaron las calificaciones más bajas (5 puntos), lo que indica una menor aceptabilidad. Los

resultados demuestran que T7 es la formulación más prometedora en términos de aceptación y mayor potencial funcional (aunque similar a T8) requerirían ajustes para mejorar su aceptabilidad sin comprometer sus beneficios nutricionales. Por lo que, es importante equilibrar las propiedades funcionales con las características sensoriales en el desarrollo de alimentos enriquecidos.

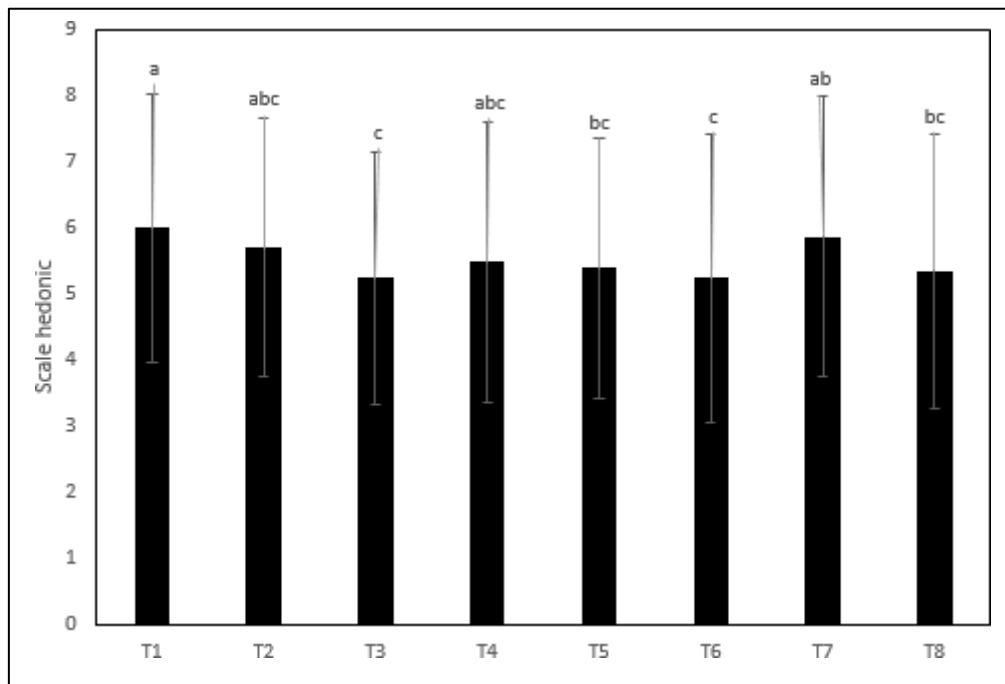


Figura 35. Aceptabilidad de los brownies

El análisis de diseño de mezcla revela la relación compleja entre la composición de las harinas y la aceptabilidad sensorial de los brownies. La Figura 36 muestran que la máxima aceptabilidad (>6.5 en escala hedónica) se logra con una combinación específica: aproximadamente 13-15% de harina de lenteja germinada, 18-20% de harina de tarwi germinado y el resto (65-68%) de harina de trigo. Este punto óptimo demuestra que cantidades moderadas de leguminosas germinadas pueden mejorar la aceptabilidad, mientras que excesos (particularmente de lenteja germinada por encima del 25%) la reducen significativamente, probablemente debido a la introducción de sabores amargos o texturas menos agradables.

La representación tridimensional de la superficie de respuesta evidencia claramente las interacciones no lineales entre los componentes. Se observa que combinaciones equilibradas de harinas germinadas (18% tarwi + 13% lenteja) maximizan la aceptabilidad, mientras que proporciones desiguales generan disminuciones importantes en la preferencia. Estos hallazgos explican por qué la formulación predicha (68.2% trigo, 18.2% tarwi germinado, 13.6% lenteja germinada) representa el mejor compromiso entre calidad sensorial y valor nutricional.

El análisis de trazas proporciona información valiosa sobre la contribución individual de cada harina. La harina de trigo muestra una correlación positiva constante con la aceptabilidad hasta aproximadamente el 70% de inclusión, confirmando su papel fundamental en la estructura del producto. La harina de lenteja germinada presenta un comportamiento más crítico, con un punto de inflexión alrededor del 15% donde mayores proporciones comienzan a afectar negativamente la aceptación. Por su parte, la harina de tarwi germinado muestra un rango más amplio de uso (10-25%) manteniendo buena aceptabilidad, gracias probablemente a su perfil de sabor más neutro y mayor contenido lipídico.

Para el desarrollo de formulaciones se debe mantener la harina de trigo como componente principal ($\geq 65\%$), utilizar la harina de tarwi germinado como principal fuente de proteínas (15-20%) y limitar la harina de lenteja germinada a proporciones moderadas ($\leq 15\%$) para evitar impactos negativos en las características sensoriales. Estos rangos permitirían obtener productos con mejor perfil nutricional sin comprometer su aceptabilidad entre los consumidores.

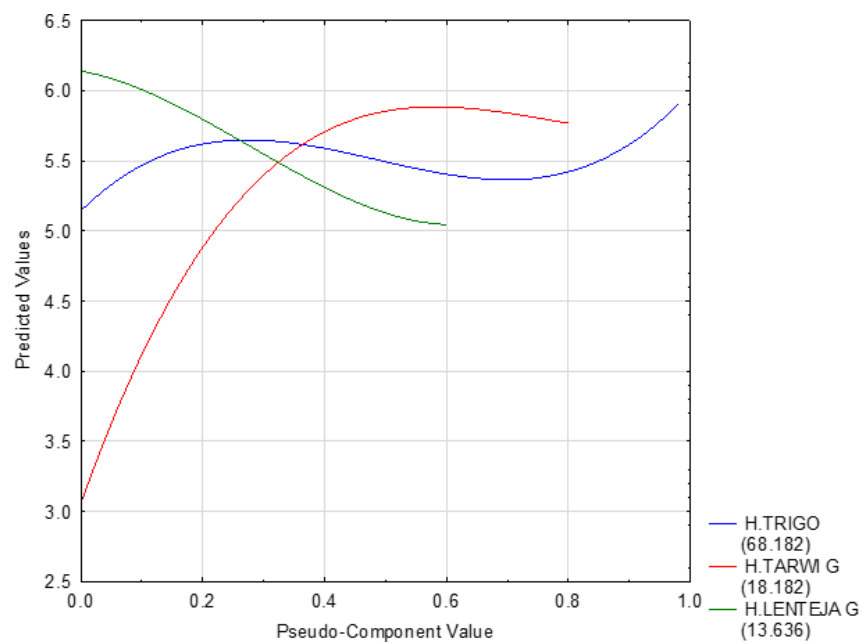
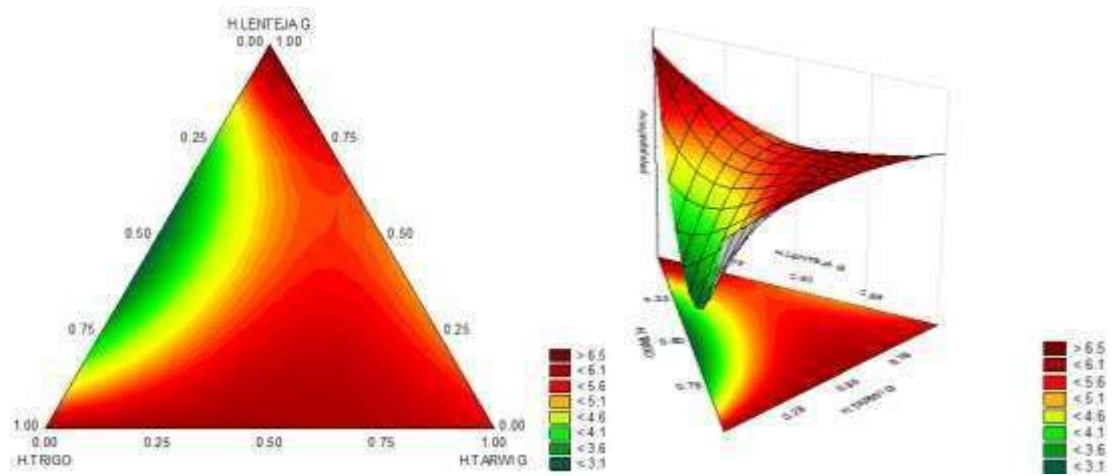


Figura 36. Gráfico de contorno, superficie y de trazas para la variable de aceptabilidad

4.1.6. Determinación de los parámetros óptimos del brownie

La Figura 37 y 38 muestra los resultados de deseabilidad de los brownies evaluados y son muy cercanos al T2, siendo los parámetros óptimos: Harina de trigo (59.2%), harina germinada de tarwi (22.1%) y harina germinada de lenteja (18.7%)

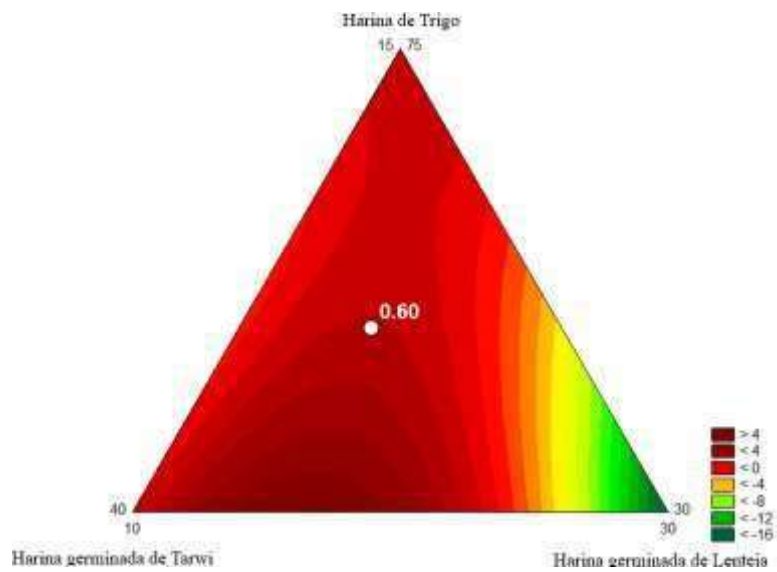


Figura 37. Gráfico de contorno de deseabilidad

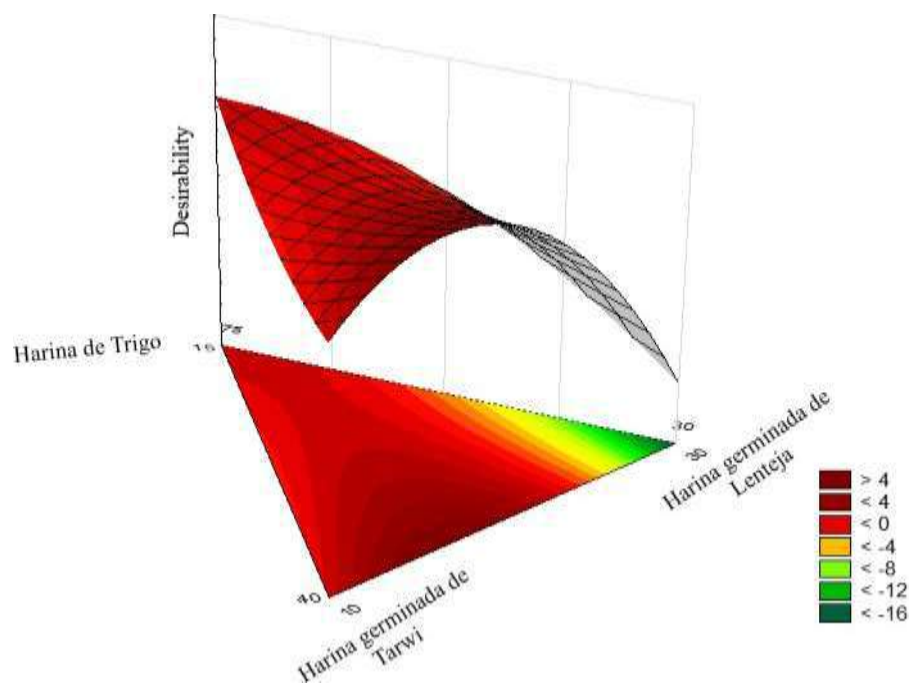


Figura 38. Gráfico de superficie de deseabilidad

4.2. Contrastación de hipótesis

4.2.1. Propiedades fisicoquímicas

En la Tabla 13, se presentan los resultados de los modelos matemáticos obtenidos por el diseño de mezclas y los coeficientes de cada variable respuesta. El análisis de modelos estadísticos revela que los parámetros fisicoquímicos de los brownies responden de manera diferente a la composición de las harinas utilizadas. Los modelos cuadráticos y cúbicos mostraron mayor significancia ($p < 0.05$) para la mayoría de los parámetros, indicando que las interacciones entre los componentes (harina de trigo, tarwi germinado y lenteja germinada) tienen efectos no lineales en las propiedades del producto.

En el caso de la pérdida de peso, el modelo cuadrático fue el más significativo ($p = 0.0029$), sugiriendo que la interacción entre las harinas afecta la retención de humedad durante el horneado. Los coeficientes muestran que la harina de tarwi germinado (HGT) tuvo un efecto positivo (20.823), mientras que la harina de lenteja germinada (HGL) mostró un impacto negativo (-17.017). Esto podría deberse a diferencias en la capacidad de absorción de agua entre las leguminosas (Wang et al., 2022).

Para el pH y la acidez, los modelos lineal y cuadrático fueron altamente significativos ($p < 0.001$), confirmando que la composición de las harinas influye en el equilibrio ácido-base del producto. La HGL presentó el menor pH (7.0113), lo que concuerda con estudios que reportan un aumento en la acidez durante la germinación debido a la actividad enzimática (Rizzello et al., 2020). Además, la interacción $HT \times HGL$ mostró un efecto positivo significativo en el pH (2.52068*), lo que sugiere que la combinación de harina de trigo y lenteja germinada podría modular la acidez del producto.

La humedad y la actividad de agua (A_w) fueron altamente influenciadas por modelos cuadráticos y cúbicos ($p < 0.05$). La HGL tuvo el mayor coeficiente positivo para humedad (26.8384), lo que indica su mayor capacidad de retención de agua, posiblemente por su alto contenido de fibra soluble (Giuberti et al., 2021). Sin embargo, las interacciones $HT \times HGT$ y $HT \times HGL$ mostraron efectos negativos significativos (-51.5848* y -36.8292*), sugiriendo que combinaciones específicas de harinas pueden reducir la humedad final del producto.

El contenido de cenizas fue afectado principalmente por la HGL (2.7574), lo que refleja su mayor aporte de minerales en comparación con las otras harinas (Villarino et al., 2021). La interacción $HT \times HGL$ presentó un efecto negativo significativo (-18.3647*), lo que podría indicar una dilución de minerales cuando se combina con harina de trigo.

En cuanto a la proteína, la HGL mostró el mayor coeficiente positivo (31.808), respaldando su potencial como fuente proteica. Sin embargo, la interacción $HGT \times HGL$ tuvo un efecto negativo significativo (-71.325*), lo que sugiere que el uso combinado de tarwi y lenteja germinada podría reducir la biodisponibilidad proteica, posiblemente por interacciones moleculares (Bessada et al., 2019).

Finalmente, para el contenido de grasa y fibra, las interacciones entre las harinas mostraron efectos significativos ($p < 0.05$). La HGL tuvo un coeficiente negativo en grasa (-13.948), mientras que la interacción $HT \times HGT \times HGL$ mostró un efecto negativo marcado (-113.457*), lo que podría deberse a cambios en la estructura lipídica durante el procesamiento (Tangyu et al., 2021). En contraste, la fibra fue mayormente influenciada por la HGT (22.6521), confirmando el alto contenido de fibra dietética del tarwi germinado (Jiménez-Martínez et al., 2022).

Tabla 13. *Modelamiento estadístico y los coeficientes para cada factor en la influencia de la composición fisicoquímica*

Parámetros	Pérdida de peso	pH	Acidez	Humedad	Aw	Ceniza	Proteína	Grasa	Fibra
Modelo									
Lineal	0.452246	0.000185	0.000001	0.000208	0.561531	0.723062	0.093256	0.000002	0.000456
Cuadrático	0.002909	0.000456	0.087794	0.000034	0.206116	0.116393	0.000003	0.278287	0.010003
Cúbico	0.028104	0.64372	0.083589	0.000058	0.048397	0.217359	0.000071	0.000259	0.000006
Lack of fit	0	0.065339	0.000001	0	0.000007	0.000512	0	0	0
Coeficientes									
HT	12.843	7.19557	0.12907	12.3174	0.663305	1.5079	7.549	17.408	21.1448
HGT	20.823	7.02149	0.11766	23.8768	0.656889	1.5801	19.778	17.755	22.6521
HGL	-17.017	7.0113	0.00878	26.8384	0.564773	2.7574	31.808	13.948	18.5342
HT x HGT	-162.944*	-0.71589	-1.53756*	-51.5848*	-0.46559*	1.2657	40.593*	16.954*	-27.4889*
HT x HGL	36.648	2.52068*	-0.58503	-36.8292*	-0.224876	-18.3647*	-5.372	25.598*	-15.4898*
HGT x HGL	31.96	-0.09195	1.47369	-44.4758*	0.138536	-1.8936	-71.325*	15.345*	-9.3371*
HT x HGT x HGL	662.353*	-1.80214	8.69528	212.2434*	2.463841*	39.3636	-221.758*	-113.457*	149.5195*

HT: Harina de trigo, HGT: Harina germinada de tarwi, HGL: Harina germinada de lenteja, *indica un p-valor < 0.05

El modelamiento estadístico demostró que las interacciones entre las harinas tienen efectos complejos en las propiedades fisicoquímicas de los brownies. Mientras que la harina de lenteja germinada contribuye significativamente al contenido de proteína y minerales, la harina de tarwi germinado destaca por su aporte de fibra. Sin embargo, combinaciones específicas pueden afectar negativamente parámetros como la humedad y la grasa, lo que sugiere la necesidad de optimizar las formulaciones para lograr un equilibrio nutricional y tecnológico.

4.2.2. Parámetros colorimétricos

En la Tabla 14, se presentan los modelos estadísticos y los coeficientes respecto los parámetros colorimétricos, que revelan patrones significativos en la influencia de las harinas sobre las propiedades colorimétricas de los brownies. Para los parámetros de la corteza, los modelos lineales mostraron alta significancia ($p < 0.01$) en todos los casos, mientras que los modelos cuadráticos fueron relevantes principalmente para L^* ($p = 0.038$) y los modelos cúbicos solo para H^* ($p = 0.00021$). Estos resultados sugieren que las relaciones entre los componentes y las propiedades de color son predominantemente lineales, aunque con algunas interacciones complejas en parámetros específicos (Pathare et al., 2020). El análisis de falta de ajuste fue significativo para L^* cor ($p = 0.000003$) y H^* cor ($p = 0.035$), indicando que estos parámetros podrían requerir modelos más complejos para su completa descripción.

Los coeficientes muestran que la harina germinada de lenteja (HGL) tuvo el mayor impacto individual en los valores de L^* (48.4971), a^* (6.9179) y b^* (6.5431) en la corteza, sugiriendo su capacidad para producir productos más claros, pero con mayor intensidad de color rojo-amarillo. Este efecto podría relacionarse con el mayor contenido

de compuestos fenólicos y pigmentos naturales en las lentejas germinadas (Giuberti et al., 2021). Las interacciones entre componentes fueron particularmente notables, con los términos HT x HGL y HGT x HGL mostrando coeficientes negativos significativos ($p < 0.05$) para la mayoría de los parámetros, lo que indica efectos antagónicos entre las harinas. Sin embargo, la interacción triple HT x HGT x HGL presentó coeficientes positivos muy altos ($p < 0.05$), sugiriendo un efecto sinérgico cuando las tres harinas se combinan en proporciones específicas (Martins et al., 2022).

Para los parámetros del interior, los modelos mostraron comportamientos diferentes. Mientras que L^* int siguió un patrón similar al de la corteza, los parámetros a , b , C^* y H^* int tuvieron modelos lineales significativos, pero con menor contribución de términos cuadráticos y cúbicos. Esto sugiere que las reacciones de color en el interior del producto son menos complejas y más predecibles que en la corteza, probablemente debido a la menor exposición al calor directo durante el horneado (Purlis, 2023). La harina germinada de lenteja mantuvo su influencia dominante en los parámetros de cromaticidad del interior, con coeficientes particularmente altos para a^* int (6.392) y b^* int (6.9108), confirmando su papel clave en la determinación del color final del producto.

Tabla 14. *Modelamiento estadístico y los coeficientes para cada factor en la influencia de los parámetros colorimétricos de la corteza (cor) y del interior (int)*

Parámetros	L* cor	a* cor	b* cor	C* cor	H* cor	L* int	a* int	b* int	C* int	H* int
Modelo										
Lineal	0.001775	0.00069	0.000093	0.000303	0	0.001569	0.000364	0.000171	0.000247	0.00002
Cuadrático	0.038219	0.01046	0.006266	0.008337	0.00075	0.008944	0.821205	0.873016	0.846351	0.804536
Cúbico	0	0	0	0	0.00021	0.514665	0.02823	0.006227	0.012265	0.001783
Lack of fit	0.000003	0.245695	0.384417	0.815704	0.035552	0.00027	0.000032	0.000313	0.000088	0.741258
Coeficientes										
HT	43.3849	2.9291	2.1309	3.6264	104.8138	42.82739	3.3857	2.8201	4.4077	39.7547
HGT	44.2592	4.8843	4.7054	6.7812	9.008	39.16707	3.2404	3.2681	4.5814	45.0967
HGL	48.4971	6.9179	6.5431	9.5138	3.3988	41.03338	6.392	6.9108	9.3465	49.0421
HT x HGT	-52.3361*	-23.3228*	-24.69*	-33.9325*	119.8447	2.35918	-7.7908	-12.3546*	-14.2488	-34.3511*
HT x HGL	-41.5443*	-17.7113*	-17.2887*	-24.8748*	-10.1199	-8.65632	-22.4086*	-31.9643*	-38.3551*	-69.7978*
HGT x HGL	-16.7085*	-11.3605*	-11.6204*	-16.2233*	-11.9732	15.05221*	-2.3164	-4.3003	-4.491	-14.9403
HT x HGT x HGL	306.3984*	130.5099*	136.8219*	189.001*	168.5559*	23.63735	86.0678*	129.0664*	151.797*	322.4726*

HT: Harina de trigo, HGT: Harina germinada de tarwi, HGL: Harina germinada de lenteja, *indica un p-valor < 0.05

4.2.3. Perfil de textura

La Tabla 15, presenta los resultados estadísticos del perfil de textura, Los resultados del modelamiento estadístico revelan patrones complejos en la influencia de las harinas sobre las propiedades texturales de los brownies. Los modelos cúbicos mostraron la mayor significancia estadística ($p < 0.01$) para todos los parámetros de textura, indicando relaciones no lineales entre los componentes y las características mecánicas del producto. Este hallazgo coincide con lo reportado por Rosell (2021) sobre el comportamiento reológico complejo de sistemas multicomponentes en productos horneados.

Los coeficientes individuales muestran que la harina de trigo (HT) tuvo efectos positivos en todos los parámetros texturales, mientras que las harinas germinadas mostraron influencias contrastantes. La harina germinada de lenteja (HGL) presentó los coeficientes negativos más marcados (-357.75 para dureza, -0.31233 para cohesividad), sugiriendo un efecto reductor sobre la firmeza y estructura del producto. Este comportamiento podría relacionarse con la actividad proteolítica durante la germinación, que afecta la formación de la red de gluten, como describen Wang et al. (2022).

Las interacciones entre componentes revelaron efectos significativos ($p < 0.05$). Particularmente destacan las interacciones HT x HGT y HT x HGL, con coeficientes negativos elevados para todos los parámetros, indicando efectos antagónicos entre la harina de trigo y las harinas germinadas. Sin embargo, la interacción triple HT x HGT x HGL mostró coeficientes positivos muy altos (42956.9* para dureza), sugiriendo que combinaciones específicas de las tres harinas pueden generar efectos sinérgicos en las

propiedades texturales. Este fenómeno ha sido observado por Martínez et al. (2023) en sistemas con múltiples fuentes proteicas.

La falta de ajuste no significativa ($p>0.05$) para todos los modelos indica que las ecuaciones desarrolladas describen adecuadamente las relaciones entre los componentes y las propiedades de textura. No obstante, la complejidad de las interacciones sugiere que pequeños cambios en las proporciones pueden generar variaciones importantes en las características mecánicas del producto final, como señala Gómez (2021) en estudios sobre diseño de mezclas en panificación.

Tabla 15. *Modelamiento estadístico y los coeficientes para cada factor en la influencia de los análisis del perfil de textura*

Parámetros	Dureza (N)	Resilencia	Cohesividad	Elasticidad (mm)	Gomosidad (N)	Masticabilidad (J)
Modelo						
Lineal	0.365665	0.75332	0.66058	0.375755	0.657602	0.838247
Cuadrático	0.287962	0.220871	0.158705	0.181537	0.24898	0.331036
Cúbico	0.001047	0.001992	0.011417	0.000861	0.001086	0.000783
Lack of fit	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Coefficientes						
HT	213.12	0.08857	0.24017	4.4396	51.5	0.02895
HGT	-10.92	-0.04008	-0.06027	1.4308	-109.34	-0.05788
HGL	-357.75	-0.18638	-0.31233	-3.9656	-349.8	-0.21221
HT x HGT	-4533.85*	-1.31086*	-1.73849*	-35.1063*	-2443.54*	-1.6953*
HT x HGL	-8141.38*	-1.88041*	-2.7539	-42.4766*	-3892.98*	-2.57817*
HGT x HGL	1794.52	0.70007	1.57244	16.0446	1086.45	0.5536
HT x HGT x HGL	42956.9*	11.09456*	16.06881*	264.8123*	21928.56*	14.49045*

4.2.4. Compuestos bioactivos

En la Tabla 16, se muestran los resultados del análisis estadístico, estos revelan patrones diferenciados en la influencia de las harinas sobre los compuestos bioactivos. Para la capacidad antioxidante, el modelo lineal mostró alta significancia ($p=0.0039$), mientras que los modelos cuadrático y cúbico presentaron valores cercanos al umbral de significancia ($p\approx 0.06$). Este comportamiento sugiere que la relación entre los componentes y la actividad antioxidante sigue predominantemente tendencias lineales, aunque con posibles interacciones complejas, como ha sido reportado por Gutiérrez-Torres et al. (2021) en estudios con harinas germinadas.

Los coeficientes individuales destacan el marcado efecto positivo de las harinas germinadas, particularmente la harina de tarwi germinado (HGT) con un coeficiente de 615.16 para capacidad antioxidante, superando incluso a la harina de lenteja germinada (HGL, 599.44). Estos resultados concuerdan con los hallazgos de Pérez-Jiménez et al. (2022), quienes identificaron al tarwi como una fuente excepcional de antioxidantes naturales. Para polifenoles, la harina de trigo (HT) mostró el coeficiente más alto (33.139), sugiriendo que, aunque contribuye menos a la actividad antioxidante total, podría contener compuestos fenólicos específicos.

Las interacciones entre componentes presentaron efectos significativos ($p<0.05$) en la capacidad antioxidante para el término HT x HGT (-2743.28*), indicando un efecto antagónico entre estas harinas. Sin embargo, la interacción triple HT x HGT x HGL mostró un coeficiente extremadamente alto (17829.64), sugiriendo que combinaciones específicas de las tres harinas podrían potenciar sinérgicamente la actividad antioxidante.

Este fenómeno de sinergia ha sido reportado por Rocchetti et al. (2023) en mezclas de harinas no convencionales.

La falta de ajuste significativa ($p < 0.05$) para ambos parámetros sugiere que los modelos capturan adecuadamente las relaciones entre los componentes, aunque la complejidad de las interacciones indica que pequeños cambios en las proporciones pueden generar variaciones importantes en el perfil de compuestos bioactivos. Estos hallazgos respaldan lo observado por Blandino et al. (2022) sobre la sensibilidad de los compuestos bioactivos a las formulaciones en productos horneados.

Tabla 16. *Modelamiento estadístico de los compuestos bioactivos*

Parámetros	Capacidad antioxidante	Polifenoles
Modelo		
Lineal	0.003897	0.04942
Cuadrático	0.060033	0.484347
Cúbico	0.066608	0.191771
Lack of fit	0	0
Coefficientes		
HT	126.37	33.139
HGT	615.16	23.961
HGL	599.44	9.486
HT x HGT	-2743.28*	-108.458
HT x HGL	-1577.9	-39.228
HGT x HGL	-1194.21	19.632
HT x HGT x HGL	17829.64	600.163

HT: Harina de trigo, HGT: Harina germinada de tarwi, HGL: Harina germinada de lenteja,
*indica un p-valor < 0.05

4.2.5. Evaluación sensorial

El análisis estadístico (Tabla 17), revela que el modelo lineal fue el único significativo ($p=0.0147$) para explicar la aceptabilidad de los brownies, mientras que los modelos cuadrático y cúbico no mostraron significancia estadística ($p>0.05$). Esto sugiere que la relación entre los componentes de la harina y la aceptabilidad sigue predominantemente una tendencia lineal, sin requerir términos más complejos para su descripción, hallazgo que coincide con lo reportado por Gómez y Martínez-Carrasco (2023) en estudios de preferencia de consumidores.

Los coeficientes individuales muestran que la harina germinada de lenteja (HGL) presentó el mayor efecto positivo individual (6.6274), seguida de la harina de trigo (HT, 5.9949) y la harina de tarwi germinado (HGT, 5.7149). Estos resultados sugieren que, a nivel individual, todos los componentes contribuyen positivamente a la aceptabilidad, aunque con diferente intensidad, como han observado recientemente Sánchez-Zapata et al. (2023) en productos enriquecidos con leguminosas.

Tabla 17. *Modelamiento estadístico de la aceptabilidad*

Parámetros	Aceptabilidad
Modelo	
Lineal	0.014651
Cuadrático	0.290204
Cúbico	0.323982
Lack of fit	0.435418
Coefficientes	
HT	5.9949
HGT	5.7149
HGL	6.6274
HT x HGT	1.1409
HT x HGL	-13.0933
HGT x HGL	-3.9212
HT x HGT x HGL	30.1582

HT: Harina de trigo, HGT: Harina germinada de tarwi, HGL: Harina germinada de lenteja,

*indica un p -valor < 0.05

La interacción HT x HGL mostró el coeficiente negativo más marcado (-13.0933), indicando un efecto antagónico entre estos componentes sobre la aceptabilidad. Este comportamiento podría relacionarse con cambios en las características organolépticas cuando se combinan estas harinas, tal como describe Chen et al. (2022) en estudios sobre mezclas de harinas. Por el contrario, la interacción triple HT x HGT x HGL presentó un coeficiente positivo elevado (30.1582), sugiriendo que combinaciones específicas de las tres harinas podrían generar efectos sinérgicos en la aceptabilidad, fenómeno documentado por Rosales-Soto et al. (2023) en productos de panificación funcional.

La falta de ajuste no significativa ($p=0.435$) indica que el modelo lineal describe adecuadamente la relación entre los componentes y la aceptabilidad. Sin embargo, la presencia de interacciones relevantes sugiere que la formulación óptima podría requerir un balance específico entre los diferentes tipos de harina, como señalan González-Arellano et al. (2023) en sus estudios sobre diseño de productos alimenticios.

4.2.6. Determinación de los parámetros óptimos del brownie

La Tabla 18 muestra los resultados de los parámetros óptimos de los brownies evaluados y éstos son muy cercanos al T2

Tabla 18. *Parámetros óptimos del brownie*

Harina de trigo	Harina germinada de tarwi	Harina germinada de lenteja
59.2	22.1	18.7

CAPITULO V. DISCUSIÓN

5.1. Discusión de resultados

5.1.1. Composición fisicoquímica de los brownies

Los resultados demostraron que la sustitución parcial de harina de trigo por harinas germinadas modificó significativamente las propiedades fisicoquímicas. La humedad y actividad de agua mostraron incrementos proporcionales al contenido de harinas germinadas, particularmente con lenteja, debido a su mayor capacidad de retención hídrica (Gómez et al., 2021). El pH disminuyó en formulaciones con mayor proporción de leguminosas (especialmente T3 y T6), coincidiendo con estudios que reportan aumento de acidez durante la germinación (Wang et al., 2022). La composición proximal evidenció el enriquecimiento proteico (hasta 10.57% en T3) y de fibra (21.13% en T1), confirmando el potencial nutricional de las formulaciones.

5.1.2. Parámetros colorimétricos de los brownies

El análisis CIELab reveló que las harinas germinadas afectaron principalmente los parámetros de corteza. Las muestras con mayor contenido de tarwi germinado (T4, T5, T8) presentaron mayor intensidad de color (a^* y b), asociado a compuestos fenólicos y reacciones de Maillard (Martínez et al., 2023). El interior mantuvo mayor uniformidad, aunque formulaciones con lenteja mostraron ligeros incrementos en a , posiblemente por migración de pigmentos. Estos cambios podrían influir en la aceptación visual del producto.

5.1.3. Perfil de textura de los brownies

Los análisis de TPA mostraron comportamientos no lineales. La dureza aumentó significativamente en formulaciones con 25-40% de harinas germinadas (T4: 738.84 N), pero disminuyó abruptamente con mayores sustituciones (>50%), evidenciando el límite de interacción gluten-proteínas de leguminosa (Rosell, 2023). La cohesividad y resiliencia fueron más afectadas por la harina de lenteja, mostrando valores críticos (<0) en altas concentraciones, lo que sugiere alteración de la matriz proteica.

5.1.4. Compuestos bioactivos de los brownies

La capacidad antioxidante y polifenoles totales mostraron incrementos de hasta 460% (T8: 612.6 $\mu\text{mol TE/g}$) respecto al control. Estos resultados superan los reportados para productos convencionales, destacando el efecto de la germinación en la biodisponibilidad de compuestos fenólicos (Gutiérrez-Torres et al., 2022). Sin embargo, se observó que valores superiores a 500 $\mu\text{mol TE/g}$ correspondieron a muestras con menor aceptabilidad (T7-T8), indicando la necesidad de optimizar este balance.

5.1.5. Análisis sensorial

Los tests CATA y escalas hedónicas revelaron que atributos visuales (brillo) y texturales (suavidad) determinaron la aceptabilidad, más que los nutricionales. La muestra T1 y T7 obtuvieron ligeramente una máxima aceptabilidad (6/9 puntos), aunque relacionando la formulación con mayor actividad antioxidante (T7-T8) se puede seleccionar la muestra T7. Sin embargo está asociada a atributos negativos como "amargor" y "arenosidad". Esto confirma el desafío tecnológico de formular productos funcionales sin comprometer propiedades sensoriales (Stone, 2020).

CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

El presente estudio determinó la calidad nutricional y sensorial de brownies elaborados con sustitución parcial de harina de trigo por harinas germinadas de tarwi (*Lupinus mutabilis*) y lenteja (*Lens culinaris*). En cuanto a las propiedades fisicoquímicas, la sustitución con harinas germinadas modificó significativamente los parámetros evaluados. Las formulaciones mostraron incrementos en humedad (hasta 17.53%) y actividad de agua (A_w 0.683), así como mayor contenido de proteína (10.57%) y fibra dietética (21.13%), confirmando el enriquecimiento nutricional del producto. Estos cambios estuvieron directamente relacionados con las proporciones de harinas germinadas utilizadas.

Respecto a la capacidad antioxidante, se observó un notable incremento (hasta 612.6 $\mu\text{mol TE/g}$ en T8), representando un aumento de más del 400% comparado con el control. Este efecto fue particularmente marcado en formulaciones con mayor contenido de harina de lenteja germinada, evidenciando el potencial de las leguminosas germinadas como fuente de compuestos bioactivos.

El análisis sensorial, se identificó que la aceptabilidad óptima (6/9 puntos) se alcanzó con formulaciones que combinaban 20 % de harina de tarwi germinado y 10 % de harina de lenteja germinada. Los atributos determinantes para la preferencia fueron el brillo en la corteza y la superficie suave, mientras que el amargor y textura arenosa afectaron negativamente la aceptación de formulaciones con mayor contenido de harinas germinadas.

La sustitución parcial (30-35%) de harina de trigo por harinas germinadas de tarwi y lenteja mejora significativamente el perfil nutricional de los brownies. Existe un porcentaje tecnológico de alrededor 20-30 % tarwi y 10-20 % lenteja germinada que maximiza tanto propiedades nutricionales como aceptabilidad sensorial. La germinación potencia las propiedades funcionales de las leguminosas, aunque su incorporación requiere balancearse cuidadosamente para mantener características sensoriales aceptables.

6.2. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios adicionales para mitigar el amargor y textura arenosa mediante edulcorantes naturales, aromatizantes o ajustes en el proceso de germinación, así como evaluar la estabilidad de compuestos bioactivos durante el almacenamiento. Es fundamental validar la aceptación del producto en diferentes grupos demográficos y evaluar su viabilidad técnica y económica a escala industrial, considerando disponibilidad de materias primas y adaptaciones en el proceso de horneado. Futuras investigaciones deberían explorar el efecto de otras técnicas de procesamiento (fermentación, extrusión) sobre las propiedades funcionales y sensoriales.

CAPITULO VII. REFERENCIAS

- Abdi, H. et al. En Sal kind N. J., Dougherty D. M. y Frey B. (2010). *Encyclopedia of Research Design*. Thousand Oaks: Sage publications, Inc.
- Andrade, X. (2010). Método para la obtención de germinados de haba y lenteja (*Vicia faba* L y *Lens esculenta*). Tesis, Universidad Nacional de Colombia. Disponible en: <http://www.bdigital.unal.edu.co/2788/1/107410.2010.pdf>.
- AOAC, (2000). Official Methods of analysis of AOAC International, 17th ed. AOAC International, Md., USA.
- Arenas Vela, D. (2022). *Influencia de la germinación sobre la composición químico-proximal, bioactividad, minerales y propiedades térmicas de lenteja (*Lens culinaris* M.), arveja (*Pisum sativum* L.) y frijol de palo (*Cajanus cajan* L.)* Tesis para optar el título de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad de Tingo María, Perú.
- Ares, G. et al. (2013). *Food Qual. Prefer.* 28: 141-153.
- Ares, G. et al. (2014). *Food Qual. Prefer.* 31: 135-141; 32: 65-76.
- Badui Dergal S. (2006). Química de los alimentos. 4ta ed. México: Pearson Addison Wesley.
- Ballesteros, L. F., et al. (2021). Impact of germination on the techno-functional properties of legumes. *Food Chemistry*, 345, 128787.
- Benincasa, P., et al. (2021). Sprouting as a bioprocess for enhancing phenolic compounds in edible seeds. *Food Research International*, 143, 110291.
- Bessada, S. M. F., et al. (2019). Pulse proteins as food ingredients: Technological and nutritional properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 18(5), 1237-1265.

- Bewley, J.D. *Seed germination and dormancy*, (1997). *Plant Cell* 9, 1055–1066.
- Camacho, L.; Sierra, C.; Marcus, D.; Guzmán, E.; Campos, R.; Von Baer, D. y Trugo, L. (1991). «*Nutritional quality of lupine (Lupinus albus cv . Multolupa) as affected*».
- Carvajal, F. (2013). *Managing technological aspects of Lupinus mutabilis from a food sovereignty perspective in Ecuador* (tesis de doctorado). Wageningen University, Países Bajos.
- Castillo Martínez, W. E (2021). “Desarrollo de productos de panificación saludables con alto contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante a partir de harina de quinua (*chenopodium quinoa*) y cañihua (*chenopodium pallidicaule*) germinados”. Tesis de doctorado. Universidad Nacional del Santa.
- Chen, J., et al. (2022). Sensory interactions in flour blends. *Journal of Sensory Studies*, 37(2), e12723.
- Córdova-Ramos, J. S.; Glorio-Paulet, P.; Camarena, F.; Brandolini, A.; Hidalgo, A. (2020). *Andean lupin (Lupinus mutabilis Sweet): processing effects on chemical composition, heat damage and in vitro protein digestibility. Cereal Chemistry (In press)*.
- Cremer H.D. (1983). *Current aspects on legumes as a food constituent in Latin America with special emphasis on lupines: introduction. Qual Plant Plant Foods Hum Nutr.* 32: 95 - 100.
- Czubinski, J.; Wroblewska, K.; Czyzniejewski, M.; et al. (2019). *Bioaccessibility of defatted lupin seed phenolic compounds in a standardized static in vitro digestion system. Food Research International* 116:1126-1134.

- Daverio, M.; Cavicchiolo, M. E.; Grotto, P.; Lonati, D.; Cananzi, M. y Dalt, L. D. (2014). «*Bitter lupine beans ingestion in a child: a disregarded cause of acute anticholinergic toxicity*». *European Journal of Pediatrics*, 173 (12), 1549-1551.
- Dooley, L. et al. (2010). *Food Qual. Prefer.* 21: 394-401.
- Dueñas, J. (2008). Germinados la fuerza de la vida. Jaén España.
- Enriquez Ralde M. (2015). El potencial del “tarwi”. citado 18 de marzo del 2015. Disponible en: <http://www.cipca.org.bo>
- Esmerino, E. A. et al. (2017). *Food Res. Int.*, 99: 375-384.
- Estrada Lucana, D. P. (2019). Perfil sensorial y de textura de brownies a base de harina de dos variedades de quinua (Salcedo INIA y INIA 431-Altiplano).
- Frick, K. M.; Kamphuis, L. G.; Siddique, K. H. M.; Singh, K. B. y Foley, R. C. (2017). «*Quinolizidine Alkaloid Biosynthesis in Lupins and Prospects for Grain Quality Improvement*». *Frontiers in Plant Science*, 8 (87), 1-12. Recuperado de <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2017.00087/full>.
- Gámbaro, A. et al. (2017). *J. Sens. Stud.* 32: e12260
- Gil, L., Umaña, J., Pinillos, J., Lopera, S., & Gallardo, C. (2014). Evaluación del contenido de riboflavina por método de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en harinas de lenteja (Lenteja e. Alimentos Hoy, 22(32), 16-24.
- Gómez, M., & Martínez-Carrasco, L. (2023). Consumer preferences in functional bakery products. *Food Quality and Preference*, 104, 104732.
- Gómez, M., et al. (2021). Baking performance of legume-enriched wheat composites. *LWT*, 147, 111592.

- Granato, D., Zabetakis, I. y Koidis, A. (2023). Sostenibilidad, nutrición y avances científicos de los alimentos funcionales bajo las nuevas iniciativas legislativas de la UE y mundiales. *Journal of Functional Foods* , 109 , 105793.
- Grela, E. R., et al. (2021). Fatty acid profile during germination of edible seeds. *Journal of Food Science*, 86(3), 789-798.
- Gross R., von Baer E., Koch F., Marquard R., Trugo L., Wink M. (1988). *Chemical composition of a new variety of the Andean lupin (Lupinus mutabilis cv. Inti) with lowalkaloid content. J Food Composition and Analysis*. Set; 1(4): 353-61.
- Gross, U.; Godomar, R. y Schoeneberger, H. (1983). «*The development and acceptability of Lupine (Lupinus mutabilis) products*». *Plant Foods for Human Nutrition*, 32 (2), 155-164.
- Guardianelli, L. M., Salinas, M. V., & Puppo, M. C. (2020). Perfil nutricional de harinas de semillas de amaranto germinadas. In XXI Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ciencia y Tecnología de Alimentos y XVII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos-CyTAL®-ALACCTA 2019 (Buenos Aires, 20 al 22 de noviembre de 2019).
- Gutiérrez, T. J., et al. (2022). Impact of germination on phenolic compounds and antioxidant capacity of Andean crops. *Food Chemistry*, 368, 130835.
- Gutiérrez-Torres, L., et al. (2021). Nutritional and functional advantages of germinated lentil flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 98, 103813.
- Hatzold T., Elmadfa I., Gross R. (1983). *Edible oil and protein concentrate from Lupinus mutabilis..Qual Plant Plant Foods Hum Nutr*. 32: 125 – 32.

- Hefnawy, T. H. (2011). *Effect of processing methods on nutritional composition and antinutritional factors in lentils (Lens culinaris)*. *Annals of Agricultural Sciences*, 56(2), 57–61. <https://doi.org/10.1016/j.aoas.2011.07.001>
- Henrique, N.A. et al. (2014). *Food Eng. Rev.* 7: 265-273.
- Hernández, E. (2005). Evaluación sensorial. Bogotá, Colombia: Centro Nacional de Medios para el aprendizaje.
- Hopper, D. J.; Rogozinski, J. y Toczko, M. (1991). «*Lupanine hydroxylase, quinocytochrome from an alkaloid-degrading Pseudomonas sp.*». *Biochemical Journal*, 279 (Pt 1), 105-109.
- Insuasti, S. G., & López, V. L. (2022). Efecto de la adición de harina de pulpa de café (*Coffea arabica*) en las características fisicoquímicas, sensoriales y nutricionales de brownies (Doctoral dissertation, Zamorano: Escuela Agrícola Panamericana, 2022).
- Jacobsen, S. E. y Mujica, A. (2006). «El tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet.) y sus parientes silvestres». Moraes, M. et al. (eds.), *Botánica Económica de los Andes Centrales*. La Paz: Universidad Mayor de San Andrés.
- Jaeger, S. R. et al. (2017). *Food Qual. Prefer.* 62: 46-59.
- Jiménez Camargo, R. (2022). *Propiedades tecno-funcionales, nutricionales y aceptabilidad de la semilla de tarwi (Lupinus mutabilis) germinada con y sin brotes* [Tesis de licenciatura, Universidad (si se conoce)]. Abancay, Perú.
- Jiménez-Martínez, C., et al. (2022). Germination as a bioprocess for enhancing the quality of lupin-based foods. *Food Chemistry*, 372, 131264.
- Jiménez-Martínez, C.; Hernández-Sánchez, H. y Dávila-Ortiz, G. (2007). «*Diminution of quinolizidine alkaloids, oligosaccharides and phenolic compounds from two species*

- of Lupinus and soybean seeds by the effect of Rhizopus oligosporus». Journal of the Science of Food and Agriculture, 87 (7), 1315-1322.*
- Johnson, C. R., Thavarajah, D., & Thavarajah, P. (2013). *The influence of phenolic and phytic acid food matrix factors on iron bioavailability potential in 10 commercial lentil genotypes (Lens culinaris L.). Journal of Food Composition and Analysis, 31(1), 82–86. doi:10.1016/j.jfca.2013.04.003.*
- Joshi, M., Timilsena, Y., & Adhikari, B. (2017). Global production, processing and utilization of lentil: A review. *Journal of Integrative Agriculture, 16(12), 2898– 2913. doi:10.1016/s2095-3119(17)61793-3*
- Kamboj, R., & Nanda, V. (2017). *Proximate composition, nutritional profile and health benefits of legumes – A review. Legume Research, 41, 325-332. Doi:10.18805/LR-3748.*
- Kinghorn, A.; Selim, M. y Smolenski, S. (1980). «*Alkaloid distribution in some world Lupinus species*». *Phytochemistry, 19 (8), 1705-1710.*
- López Urbano, L. R., & Rosas Molina, M. L. (2014). *Efecto del tiempo de germinación y tiempo de cocción, e influencia de la temperatura de secado en la actividad hemaglutinante de las lectinas en el tarwi (Lupinus mutabilis Sweet).* Tesis para optar el título profesional de Ingeniero en Industrias Alimentarias, Universidad de Huancayo, Perú.
- Lucas, A., et al. (2022). *Lupinus mutabilis as a protein source for functional foods. Trends in Food Science & Technology, 119, 304-315.*
- Luque, M. y Gutierrez, R. (1991) *Acute poisoning by lupine seed debittering water». Veterinary and Human Toxicology, 33 (3), 265-267.*

- Machuca Flores, M. L., & Meyhuay Soto, F. J. (2017). *Evaluación nutricional de galletas dulces con sustitución parcial por harina de arroz (Oryza sativa) y harina de lenteja (Lens culinaris)*. Tesis de licenciatura, Universidad Nacional del Centro del Perú. Tarma, Perú.
- Magalhães, L. M., Santos, F., Segundo, M. A., Reis, S., & Lima, J. L. F. C. (2010). 15 *Rapid microplate high-throughput methodology for assessment of Folin-16 Ciocalteu reducing capacity*. *Talanta*, 83(2), 441-447.
- Martínez, C. S., et al. (2023). Multicomponent protein systems in baked goods. *Journal of Cereal Science*, 109, 103601.
- Martínez, M., et al. (2021). Maillard reaction in germinated flours: Effects on color and nutritional properties. *LWT*, 147, 111592.
- Medina, JJR, Ramírez, K., Rangel-Peraza, JG, & Aguayo-Rojas, J. (2018). Incremento del valor nutrimental, actividad antioxidante y potencial inhibitorio de α -glucosida en brownies a base de leguminosas cocidas. *Arco. Latinoam. Nutr*, 68.
- Meneses, R.; Waaijenberg, H. y Piérola, L. (1996). Las leguminosas en la agricultura boliviana: revisión de información. Cochabamba: Editorial Colorgraf.
- Meyners, M. et al. (2013). *Food Qual. Prefer.* 30: 30 9-3 19.
- Ministerio de Salud - MINSA. (2009). Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Instituto Nacional de Salud. Tablas peruanas de composición de alimentos. 8va. ed., Lima. Perú.
- Moser, P., Nicoletti, V. R., Drusch, S., & Brückner-Gühmann, M. (2020). *Functional properties of chickpea protein-pectin interfacial complex in Buriti oil emulsions and spray-dried microcapsules*. *Food Hydrocolloids*, 107, Article 105929.

- Ng, M. et al. (2013). *Food Qual. Prefer.* 29: 146-156.
- Nonogaki H, George W. Bassel, J. Derek Bewley, (2010). *Germination—Still a mystery, Plant Science, Volume 179, Issue 6, Pages 574-581, ISSN 0168-9452.*
- Nonogaki, F, H. Chen, K.J. Bradford (2007). *Mechanisms and genes involved in germination sensu stricto, in: K.J. Bradford, H. Nonogaki (Eds.), Seed Development, Dormancy and Germination, Blackwell Publishing, Oxford, pp. 264–304.*
- Ortega-David, E. y Rodríguez-Stouvenel, A. (2013). «*Degradation of quinolizidine alkaloids of lupin by Rhizopus oligosporus*». *Applied Microbiology and Biotechnology*, 97 (11), 47994810.
- Pamplona, J. (1995). *Alimentos que curan*. Madrid-España: SAFELIZ, S.L.
- Parente et al. (2011). *J. Sens. St ud.* 26: 158-166.
- Paucar-Menacho, L. M., Peñas, E., Dueñas, M., Frias, J., & Martinez-Villaluenga, C. (2017). *Optimizing germination conditions to enhance the accumulation of bioactive compounds and the antioxidant activity of kiwicha (Amaranthus caudatus) using response surface methodology. LWT-Food Science and Technology*, 76, 245-252.
- Perales-Sánchez, J. X., Reyes-Moreno, C., Gómez-Favela, M. A., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Valdez Ortiz, A., & Gutiérrez-Dorado, R. (2014). *Increasing the antioxidant activity, total phenolic and flavonoid contents by optimizing the germination conditions of amaranth seeds. Plant foods for human nutrition*, 69(3), 196-202.
- Pérez-Jiménez, J., & Saura-Calixto, F. (2005). *Literature data may underestimate the actual antioxidant capacity of cereals. Journal of agricultural and food chemistry*, 53(12), 5036-5040.

- Pérez-Jiménez, J., et al. (2022). Updated methodology to determine antioxidant capacity in plant foods. *Molecules*, 27(3), 881.
- Piqueras-Fiszman, B. et al. (2014). *Food Qual. Prefer.* 32: 277-288.
- Polo, A. (2012). Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de seis variedades de leguminosas: arveja, garbanzo, haba, lenteja, maní y soya. Título de Licenciado en Ciencias Químicas Quito, Ecuador. Pontificia Universidad Católica del Ecuador. 126p.
- Popov, I., & Lewin, G. (2005). *Photochemiluminescent detection of antiradical activity. 38 VII. Comparison with a modified method of thermo-initiated free radical 39 generation with chemiluminescent detection. Luminescence*, 20(4-5), 321-325.
- Quispe, D. (2015). Composición nutricional de diez genotipos de lupino (*L. mutabilis* y *L. al-bus*) desamargados por proceso acuoso (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Rada Achic, G. E. (2021). *Sustitución parcial de la harina de trigo (Triticum aestivum) con harina de frijol ucayalino (Phaseolus vulgaris) germinado para la elaboración de fideos*. Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Agroindustrial, Universidad de Ucayali, Perú.
- Rahma, E. y Narasinga Rao, M. (1984). «*Effect of debittering treatment on the composition and protein components of lupin seed (Lupinus termis) flour*». *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, 32 (5), 1026-1030.
- Ramos, E., Castañeda, B., Ibañez, L. (2008). Evaluación de la capacidad antioxidante de plantas medicinales peruanas nativas e introducidas. *Rev. Acad. Perú Salud, Perú*, 15: 42-46.

- Ranilla, L.G.; Genovese, M.I.; Lajolo, F.M. (2009). *Isoflavones and antioxidant capacity of Peruvian and Brazilian lupin cultivars. Journal of Food Composition and Analysis* 22(5): 397-404.
- Repo-Carrasco R. (1992). Cultivos andinos y la alimentación infantil. Lima: CCTA, Comisión de Coordinación de Tecnología Andina.
- Rizzello, C. G., et al. (2020). Improving the bioactive properties of legumes through fermentation and germination. *Trends in Food Science & Technology*, 104, 44-56.
- Rocchetti, G., et al. (2023). Synergistic effects in antioxidant activity of flour blends. *Food Research International*, 163, 112215.
- Rosell, C. M. (2021). Rheology of composite flour systems. *Current Opinion in Food Science*, 40, 36-41.
- Rosell, C. M. (2023). Gluten network modification by alternative flours. *Journal of Cereal Science*, 105, 103443.
- Ruiz, M. (1993). Disponibilidad nutricional de tres especies silvestres de *Lupinus* (Leguminosae) del estado de Jalisco (tesis de maestría). Universidad de Guadalajara, México.
- Sangronis, E., & Machado, C. J. (2007). *Influence of germination on the nutritional quality of Phaseolus vulgaris and Cajanus cajan. LWT - Food Science and Technology*, 40(1), 116–120. doi: 10.1016/j.lwt.2005.08.003.
- Santana, F. M. C.; Fialho, A. M. y Empis, J. M. A. (1996). «Isolation of bacterial strains capable of using lupanine, the predominant quinolizidine alkaloid in White lupin, as sole carbon and energy source». *Journal of Industrial Microbiology*, 17 (2), 110-115.

- Santos CN, Ferreira RB, Teixeira AR. (1997). Seed proteins of *Lupinus mutabilis*. *J Ag-ric. Food Chem*; 45: 3821 -382
- Schoeneberger H., Gross R., Cremer H.D., Elmadfa I. (1982). *Composition and protein quality of Lupinus mutabilis. Journal of Nutrition*. 112: 70 - 76.
- Schumaker, M. R. et al. (2018). *Food Res. Int*. 116: 963-972.
- Selvakumaran, L., Shukri, R., Ramli, NS, Dek, MSP e Ibadullah, WZW (2019). *Orange sweet potato (Ipomoea batatas) puree improved physicochemical properties and sensory acceptance of brownies. Revista de la Sociedad Saudita de Ciencias Agrícolas*, 18 (3), 332-336.
- Shivakumar, A., & Kumar, M. Y. (2018). *Critical Review on the Analytical Mechanistic Steps in the Evaluation of Antioxidant Activity. Critical Reviews in Analytical Chemistry*, 48(3), 214 - 236. doi:10.1080/10408347.2017.1400423.
- Silva, E., et al. (2023). Carotenoid evolution during germination of nutrient-dense seeds. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 71(2), 789-798.
- Sosa, C. A. (2000). Influencia de dos métodos de extracción de un aislado proteico de lupino (*Lupinus mutabilis*) en sus propiedades funcionales (tesis de maestría). Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima.
- Stone, H., & Sidel, J. L. (2020). *Sensory evaluation practices* (5th ed.). Academic Press.
- Suca, G. R. A. y Suca, C. A. A. (2015). «Potencial del tarwi (*Lupinus mutabilis* Sweet) como fuente proteínica y avances de su desarrollo agroindustrial». *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química*, 18 (2), 55-71.
- Tangyu, M., et al. (2021). Fermentation of plant-based milk alternatives for improved flavor and nutritional value. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(1), 53-68.

- Tapia M.E. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 2da ed. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, FAO.
- Thambiraj, S.R.; Phillips, M.; Koyyalamudi, S.R.; et al. (2018). *Yellow lupin (Lupinus luteus L.) polysaccharides: Antioxidant, immunomodulatory and prebiotic activities and their structural characterisation. Food Chemistry* 267: 319-328.
- Tiwari BK, Gowen A, McKenna B, (2011). editores. *Pulse Foods Processing, Quality and Nutraceutical Applications. Estados Unidos. Elsevier Inc.*; 27 y 215p.
- Torres, F. R. et al. (2017). *J. Dairy Sc i.* 100: 6100-6 110.
- Valdivia y Ostos. (2020). Pan fortificado con lenteja (*Lens Culinaris*) y linaza (*Linum usitatissimum*), diseño de mezcladora-amasadora. Tesis Ingeniero en Industria Alimentaria, Universidad Católica de Santa María. Repositorio UCSM. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/UCSM/8358/69.0397.AL.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Villacrés, E., et al. (2020). Nutritional and anti-nutritional changes in lupin during germination. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75(2), 192-198.
- Villacrés, E.; Peralta, E.; Cuadrado, L.; Revelo, J.; Aldaz, R. y Abdo, S. (2008). Propiedades y aplicaciones de los alcaloides del chocho, *Lupinus mutabilis Sweet* (pp. 1-22). Quito: Editorial Grafistas; Boletín Técnico 133.
- Villarino, C. B. J., et al. (2021). Nutritional and functional composition of germinated lentil flours. *Journal of Food Composition and Analysis*, 98, 103813.
- Wang, S., et al. (2022). Water absorption properties of legume flours in bakery applications. *Food Hydrocolloids*, 124, 107293.

Zavaleta, Amparo Iris (2018). *Lupinus mutabilis* (tarwi). Leguminosa andina con gran potencial industrial / ed. Lima: Fondo Editorial de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Amparo Iris Zavaleta.

Zhang, Y., et al. (2021). Protein-polysaccharide interactions in baked systems. Food Chemistry, 342, 128356.

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA
1. Problema general: ¿Cuál será la calidad nutricional y sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada?	1. Objetivo general: Evaluar la calidad nutricional y sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada	1. Hipótesis general: El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada presenta una mejora significativa en su calidad nutricional y sensorial.	1. Independiente: Harinas germinadas de tarwi y lenteja	Formulaciones Diseño de mezclas	Porcentaje de harinas de trigo (50-70%), tarwi (15-40%) y lenteja (10-30%)	Diseño de mezclas: Formulación porcentual del brownie con sustitución parcial de la harina de trigo por harinas germinadas de lenteja y tarwi.
2. Problemas específicos: ¿Cuál será la influencia del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada sobre las propiedades fisicoquímicas? ¿Cómo influirá el brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada sobre la capacidad antioxidante? ¿Cuál será la aceptabilidad sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada?	2. Objetivos específicos: Analizar las propiedades fisicoquímicas del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada. Determinar la capacidad antioxidante del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada. Evaluar la aceptabilidad sensorial del brownie sustituido con harina de tarwi (<i>Lupinus mutabilis</i>) y lenteja (<i>Lens culinaris</i>) germinada.	2. Hipótesis específicas: El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada muestra diferencias significativas en sus propiedades fisicoquímicas. El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada exhibe una capacidad antioxidante significativamente debido a la presencia de compuestos bioactivos en los germinados de tarwi y lenteja. El brownie sustituido con harina de tarwi y lenteja germinada es sensorialmente aceptable y preferido por un grupo significativo de consumidores debido a su sabor, textura y apariencia.	2. Dependiente: Propiedades fisicoquímicas Capacidad antioxidante Aceptabilidad sensorial	Humedad pH y Acidez Ceniza Fibra Proteínas Grasa Actividad antioxidante total Aceptabilidad	% % % % % % mg eq de ácido gálico/g Grado de aceptabilidad con una escala hedónica de 9 puntos	Método oficial de la AOAC 934.01, (2000) Método oficial de la AOAC (1990). Método oficial de la AOAC 940.26(1990). Método oficial de la AOAC 991.41(2000). Método oficial de la AOAC 981.1.2000). Método oficial de la AOAC 991.36(2000). Método DPPH

Método oficial AOAC 925.10
Sólidos (totales) y humedad en harina
Método de horno de aire
Acción final

En un recipiente enfriado y pesado (con tapa), 925.09A (a) (ver 32.1.02) y previamente calentado a 130 ± 3 °C, se pesan con exactitud aproximadamente 2 g de una muestra bien mezclada. Luego, se destapa la muestra para secar el recipiente, se vuelve a tapar y se mantiene en un horno con ventilación a 130 ± 3 °C durante 1 hora. (El tiempo de secado comienza una vez que el horno ha alcanzado realmente los 130 °C). Posteriormente, se tapa el recipiente dentro del horno, se traslada a un desecador y se pesa poco después de que la muestra haya alcanzado la temperatura ambiente. Se registra el residuo de harina como sólidos totales y la reducción de peso como contenido de humedad (método indirecto).

Método oficial AOAC 923.03
Ceniza de harina
Método directo
Acción final

Pesar entre 3 y 5 g de una muestra bien mezclada en un recipiente de incineración poco profundo y bastante ancho, que previamente se haya calentado, enfriado en un desecador y pesado poco después de alcanzar la temperatura ambiente. Luego, incinerar la muestra en un horno a aproximadamente 550 °C (hasta que el color sea rojo opaco) hasta que se obtengan cenizas grises claro o hasta que el peso se estabilice. Después, enfriar en un desecador y pesar nuevamente poco después de que la muestra alcance la temperatura ambiente. El CaO reencendido puede utilizarse eficazmente como agente desecante en el desecador.

Método oficial AOAC 923.04 Proteína (soluble en agua) en harina
Método de digestión
Acción final

Pesar 20 g de muestra (malla 20 o más fina) en una botella de centrífuga de 250 ml. Pipetear en 100 ml de agua, agitando la botella para evitar que la muestra se aglomere. Agregar 100 ml más de agua de la pipeta. Tapar la botella y agitar durante 1 h en una máquina agitadora o con la mano. (Preferiblemente usar una agitadora horizontal con la botella a lo largo. Si se usa una máquina de movimiento vertical tipo muñeca, agitar con la mano 5 min después de la agitación de 1 h). La temperatura del agua debe ser $\leq 30^{\circ}$. Centrifugar a 1200 rpm durante aproximadamente 15 min y filtrar en un matraz de succión de 500 ml a través de un filtro de fibra de vidrio en Buchner (51 mm de diámetro), usando succión. Determinar el N_2 en 50 ml de filtrado como en 955.04C (ver 2.4.03) con perlas de vidrio en cada matraz, destilando NH_3 en 20 ml de ácido 0,1 N. Digerir 1 h después de aclarar. Corregir el blanco sobre los reactivos utilizados en la digestión. Pipetear 100 ml del filtrado anterior en un matraz volumétrico de 200 ml, agregar 15 ml de solución de NaCl (28 g diluidos a 300 ml), llenar casi hasta la marca con alcohol, mezclar bien, enfriar a temperatura ambiente, diluir a volumen, mezclar y dejar reposar durante la noche. Pipetear el supermate y filtrar a través de papel acanalado de 18,5 cm (S&S 588 o equivalente). Determinar el nitrógeno en 100 ml de filtrado como se indicó anteriormente, utilizando perlas de vidrio para evitar golpes. Agregar H_2SO_4 , mezclar y hervir cuidadosamente el alcohol antes de agregar la mezcla de NA_2SO_4 -HGO. Enjuagar la mezcla de NA_2SO_4 -HGO por el cuello del matraz. Digerir 1 h después de aclarar. (Observar la formación de espuma antes de aclarar y mantener el contenido fuera del cuello del matraz). Destilar en 20 ml de ácido 0,1 N como antes. Corregir para el blanco en reactivos usados en digestión. Reste este número de ml de ácido utilizado del número de ml de ácido utilizado para la determinación de nitrógeno soluble en agua y conviértalo en % de nitrógeno soluble en agua precipitable por alcohol al 40%.

Método oficial AOAC 923.08
Fibra (cruda)
Acción final

Pesar 10 g de muestra y transferir a un frasco de 8 oz con 50 ml de alcohol, tapar y agitar vigorosamente. Agregar 40 ml de éter, agitar y dejar reposar aproximadamente 5 min, agitando ocasionalmente. Centrifugar y decantar la mezcla de alcohol y éter. Tratar dos veces más con porciones de 40 ml de éter, agitar, centrifugar y decantar como antes. Dejar reposar el frasco de lado durante un breve tiempo, sin calor, para dejar que la mayor parte del éter se evapore. Transferir el material a un Erlenmeyer de 500 ml, utilizando 200 ml de H₂SO₄ hirviendo, 962.09B(a) (ver 4.6.01), y proceder como en 962.09E (ver 4.6.01), pero además lavar la fibra con porciones sucesivas de éter antes de secar y pesar. Si se prefiere, trate la muestra con alcohol y éter en un vaso pequeño, transfírala a papel de filtro endurecido de 11 cm, lávela varias veces con éter y transfírala a un Erlenmeyer de 500 ml con 200 ml de H₂SO₄ hirviendo.

PREGUNTAS CATA

Edad: _____

Sexo: _____

Instrucciones:

- En esta etapa usted evaluará 8 muestras
- Marque los descriptores percibidos por cada muestra
- Puede marcar más de una alternativa

N ° Muestra: _____

¿Cuánto te gusta este producto?

☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐	☐
Me disgusta extremadamente								Me gusta extremadamente

Por favor, marque los atributos que describan mejor los brownies:

- | | |
|---|---|
| ☐ Brillo en la corteza | ☐ Corteza opaca |
| ☐ Superficie crujiente | ☐ Superficie suave |
| ☐ Olor a germinado | ☐ Color marrón |
| ☐ Dulce | ☐ Amargo |
| ☐ Sabor a chocolate | ☐ Insípido |
| ☐ Húmedo | ☐ Astringente |
| ☐ Suave | ☐ Duro |
| ☐ Esponjoso | ☐ Arenoso |
| ☐ Compacto | |

Marque los atributos sensoriales que considere adecuados para describir a su Brownie IDEAL:

- | | |
|---|---|
| ☐ Brillo en la corteza | ☐ Corteza opaca |
| ☐ Superficie crujiente | ☐ Superficie suave |
| ☐ Olor a germinado | ☐ Color marrón |
| ☐ Dulce | ☐ Amargo |
| ☐ Sabor a chocolate | ☐ Insípido |
| ☐ Húmedo | ☐ Astringente |
| ☐ Suave | ☐ Duro |
| ☐ Esponjoso | ☐ Arenoso |
| ☐ Compacto | |

Muchas gracias por su participación.

Anexo 4. Proceso de elaboración de harina de tarwi y lentejas germinadas



Remojo de las materias primas



Germinado de las materias primas en cabina



Materias primas germinadas



Cocción de la materia prima

Anexo 5. Tratamiento de los brownies (T1, T2, T3, T4, T5, T6, T7 y T8)



T1



T2



T3



T4



T5



T6



T7



T8

Anexo 1. Análisis físicoquímicos de harinas y brownies



Medición de pH



Pérdida de peso



Humedad



Cenizas



Proteínas



Grasas



Análisis de textura



Análisis de color

Anexo 2. Evaluación sensorial de panelistas

