

Artículo Científico

Impacto de la sustitución parcial de harina de trigo refinada por harinas extruidas de grano entero de lenteja y sorgo rojo sobre la textura y composición proximal de galletas

Effect of using extruded whole lentil and sorghum flour on the texture and proximal composition of wheat biscuits

Sara Guajardo-Flores¹, Erick Heredia-Olea¹, Ana Antonieta Chew-Guevara¹ y Esther Pérez-Carrillo^{1*}

¹Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, campus Monterrey. Av. Eugenio Garza Sada 2501 Sur, Tecnológico, 64700 Monterrey, N.L., México.

*Correspondencia: Correo electrónico: perez.carrillo@tec.mx (Esther Pérez-Carrillo)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v19iEspecial.1980>

Recibido: 17 de junio de 2025; Aceptado: 11 de noviembre de 2025

Publicado por la Universidad Autónoma de Chihuahua, a través de la Dirección de Investigación y Posgrado.

Editor de Sección: Dr. César Ozuna-López

Resumen

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de sustituir la harina de trigo por harinas de lenteja y sorgo extruidas, en la composición proximal, digestibilidad *in vitro* de la proteína, color, actividad de agua, perfil de análisis de viscosímetro rápido (RVA) y propiedades texturales de galletas durante un período de almacenamiento de 7 días a 25 °C. Se evaluaron cuatro formulaciones: 100 % harina de trigo (Tratamiento 00), 80 % harina de trigo con 20 % de harina de lenteja extruida (Tratamiento 01), 60 % harina de trigo con 40 % de harina de lenteja extruida (Tratamiento 02) y 30 % harina de trigo, 40 % de harina de lenteja extruida y 30 % de harina de sorgo extruida (Tratamiento 03). Los resultados revelaron que la sustitución parcial de harina de trigo por harinas de lenteja y sorgo extruidas (Tratamiento 03) genera una galleta con tonalidad más rojiza, menor actividad de agua que el control, con una mejora significativa del contenido de proteína, cenizas, así como el índice de expansión de las galletas. En cuanto a textura dentro de los primeros días, esta galleta es la que presenta menos cambios en dureza y fracturabilidad, lo que indica que es más estable. Estos resultados sugieren que la incorporación de harinas de lenteja y sorgo extruidas puede ser una alternativa para incrementar la entrega de proteína de calidad a través de productos de alto consumo como son las galletas.

Palabras clave: proteína, lenteja, sorgo, composición proximal, galleta, extrusión.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the effect of replacing wheat flour with extruded lentil and sorghum flours on the proximate composition, in vitro protein digestibility, color, water activity, and rapid viscosimeter analysis (RVA) profile and textural properties of biscuits during a 7-day storage period at 25 °C. Four formulations were evaluated: 100 % wheat flour (Control), 80 % wheat flour with 20 % extruded lentil flour (Treatment 01), 60 % wheat flour with 40 % extruded lentil flour (Treatment 02) and a formulation composed of 30 % wheat flour, 40 % extruded lentil flour and 30 % extruded sorghum flour (Treatment 03). The results revealed that the partial replacement of wheat flour with extruded lentil and sorghum flours produced a biscuit with a redder hue, lower water activity than the control, and significantly improved protein and ash content and biscuit expansion index. Regarding texture within the first few days, this biscuit showed the least changes in hardness and fracturability, suggesting a greater stability. These results suggest that the addition of extruded lentil and sorghum flours may be an alternative for increasing the delivery of quality protein through high-consumption products such as biscuits.

Keywords: protein, lentil, sorghum, proximal composition, biscuit, extrusion.

1. Introducción

Conforme la población mundial crece, se ha incrementado la necesidad de explorar fuentes de nutrición que sean sustentables, asequibles y amigables con el medio ambiente. Para ello, la FAO ha recomendado el desarrollo de harinas compuestas, definidas como una mezcla de diferentes harinas, como una forma efectiva de incorporar granos nutritivos locales en productos alimenticios (Moin et al., 2025). Además, se debe identificar el producto alimenticio adecuado para hacer llegar los beneficios de las harinas compuestas a los consumidores como es que se adapte a los hábitos alimentarios existentes, que sea estable, de fácil manejo y sin preparación adicional (Taípe-Lucas et al. 2021). Bajo este contexto, las galletas son un producto horneado altamente consumido, reconocido por su extensa vida de anaquel, conveniencia y palatabilidad. Su popularidad en diferentes demografías hace de ellas un vehículo ideal para la fortificación con nutrientes como el enriquecimiento proteico. La fortificación de galletas con proteínas se ha desarrollado para combatir la malnutrición y mejorar el aporte de proteína en diferentes grupos poblacionales. Sin embargo, esta fortificación representa retos importantes como son cambios en textura, sabor, etc. (Şeren & Çelekli, 2025).

En los últimos años, ha habido un creciente interés en buscar alternativas a base de cereales que puedan mejorar el perfil nutricional de estos productos. El sorgo es un cereal bien adaptado a climas áridos y cálidos, lo que lo convierte en una alternativa prometedora para el contexto del cambio climático que se está viviendo, como sustituto parcial de trigo (Iacovino et al., 2025). Adicional a esto, en los últimos años el interés en sorgo rojo se ha incrementado debido a que es considerado una buena fuente de compuestos nutraceuticos y fitoquímicos (Aruna et al. 2025). Además, la utilización de sorgo puede dar lugar a la reducción del índice glicémico de productos como las galletas (Camara et al., 2025). En cuanto a las lentejas, como otras leguminosas es una fuente importante de proteínas (20.6 a 31.4 % de su peso), pero además es rica en fibra dietaria y baja en grasa (Jarpa-Parra 2018),

adicional a esto, es rica en compuestos nutraceuticos como polifenoles con beneficios cardiprotectores, antidiabéticos, antiinflamatorios y anticariogénicos (Dewan et al., 2024).

La extrusión es una técnica de procesamiento térmico mecánico que puede modificar las propiedades funcionales y nutricionales de los ingredientes. La extrusión de legumbres y cereales ha demostrado mejorar la digestibilidad de los nutrientes y la calidad sensorial de los productos finales (Mba et al., 2023). En este contexto, el uso de harinas de lenteja y sorgo extruidas puede no solo mejorar el perfil nutricional de las galletas, sino también influir en sus propiedades físicas y sensoriales. Varias investigaciones han evaluado la inclusión de harinas de legumbres y cereales en la elaboración de galletas, reportando mejoras en el contenido de proteína y fibra, así como en la aceptabilidad sensorial (Becerril et al., 2019; Aslan Türker, 2024; Felisiak et al., 2024). Sin embargo, la mayoría de estos estudios se han centrado en harinas no extruidas, y la información sobre el uso combinado de harinas de lenteja y sorgo extruidas en galletas es limitada.

El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la sustitución de harina de trigo por harinas de lenteja y sorgo extruidas en la composición proximal, digestibilidad in vitro de la proteína, color, actividad de agua, perfil de análisis de viscosímetro rápido (RVA) y propiedades texturales de galletas durante un período de almacenamiento de 7 días a 25 °C.

2. Materiales y métodos

2.1 Procedimiento Experimental

Para la generación de las harinas modificadas por extrusión, se siguió el procedimiento descrito por Espinosa-Ramirez et al. (2021) para sorgo y lenteja utilizando un extrusor de dos tornillos de 60 cm de longitud y una relación L/D=20 corrotatorios (BTSM.30m Bühler AG, Uzwil, Suiza). Se evaluaron cuatro formulaciones diferentes, las cuales se presentan en la Tabla 1.

En el proceso de elaboración de las galletas, se pesaron todos los ingredientes de forma separada y posteriormente se mezclaron en una batidora KitchenAid durante 15 min a velocidad media, utilizando un aditamento de paleta. Posteriormente, la masa se laminó a un grosor de 2 cm y se cortó en forma de círculo con un diámetro de 10 cm. Las galletas se hornearon en un horno Electrolux a 190 °C durante 14 min. Una vez enfriadas a 25 °C, se empaquetaron en bolsas de celofán para su almacenamiento a 25 °C durante 7 días.

Tabla 1. Formulaciones utilizadas para la producción de galletas de trigo 100 % (Tratamiento 00) y galletas de harinas compuestas:trigo 80 % lenteja 20 % (Tratamiento 01), trigo 60 % lenteja extruida 40 % (Tratamiento 02) y trigo 30 % lenteja extruida 40 % y sorgo extruido 30 % (Tratamiento 03).

Table 1. Formulations used to produce wheat biscuits 100 % (Treatment 00), wheat:extruded lentil 70:30 biscuits (Treatment 01), wheat:extruded lentil 60:40 (Treatment 02) and wheat:extruded lentil: extruded sorghum 30:40:30 (Treatment 03).

Ingredientes	00	01	02	03
Harina de trigo	100	80	60	30
Harina de lenteja extruida	-	20	40	40
Harina de sorgo rojo extruida	-	-	-	30
Agua	54	54	54	54
Azúcar	20	20	20	20
Mantequilla	8	8	8	8
Polvo para hornear	1.5	1.5	1.5	1.5
Leche descremada en polvo	1	1	1	1
Sal	1	1	1	1
Esencial de vainilla	0.5	0.5	0.5	0.5
Lecitina	0.3	0.3	0.3	0.3

2.2 Métodos Analíticos

Determinación de perfil viscoamilográfico de harinas

La determinación del perfil viscoamilográfico de las harinas sin extruir, extruidas y de las harinas compuestas se llevo a cabo utilizando un RVA, (viscosímetro rápido) Modelo 4500 (Perkin Elmer) bajo los estándares del Método 76-21-01 de la AACC (por su nombre en inglés, American Association of Cereal Chemistry). Para ello, se preparó una suspensión al 7 % de sólidos de harina en agua destilada que, posteriormente, se sometió a un perfil de calentamiento iniciando a 50 °C para alcanzar 95 °C en 3.5 min, se mantiene a 95 °C durante 5 min y se enfría en 3.5 min a 50 °C, se mantiene a esta temperatura durante 5 min, todo esto a una velocidad de agitación de 160 rpm.

Composición química y actividad de agua de galletas

En cuanto a la caracterización de las galletas se llevó a cabo la determinación de humedad, proteína cruda, extracto étereo y cenizas totales de acuerdo a protocolos AOAC (por su nombre en inglés, Association of Official Analytical Chemists) 920.151, 920.152, 960.39, 940.26, respectivamente. Para llevar a cabo la determinación de actividad de agua (a_w) se utilizó un equipo Aqualab 4TE. Todas las mediciones se llevaron a cabo por triplicado.

Propiedades físicas de las galletas

Para la determinación de color en la superficie de galleta entera se hizo con la escala CIE LAB (L^* , a^* , b^*) con un espectrofotómetro Minolta (Modelo CM-600d). En el caso del índice de expansión se calculó como la relación del diámetro dividido por el grosor de la galleta. Para la textura, se aplicó la técnica de Flores-Quintanilla y Pérez-Carrillo (2022) al día 0, 1 y 7, para ello se utilizó un texturómetro TA.XT2 (Stable Micro System Ltd. Surrey, UK) con una sonda de metal de 3 mm de diámetro. La velocidad de prueba fue de 1 mm/s y se determinó la dureza (valor máximo en el que se rompe la galleta) y fracturabilidad (valor en que se empieza a romper la galleta). La determinación de A_w , índice de expansión y textura se realizaron 5 repeticiones por tratamiento cada una.

Diseño experimental y análisis de datos

Para este trabajo se estableció un diseño experimental en el cual se compararon galletas elaboradas a base de 100 % harina de trigo (Tratamiento 00) contra galletas elaboradas con una sustitución del de la harina de trigo por harina de lenteja extruida en 20 % (Tratamiento 01), 40 % (Tratamiento 02), 40 % y 30 % harina de sorgo extruida (Tratamiento 03). Se realizaron pruebas para validar que los datos fueran paramétricos (normalidad, homocedasticidad e independencia). Se utilizó una prueba ANOVA con un valor de significancia p de 0.05. La determinación de la diferencia de medias fue hecha utilizando la prueba de Tukey de comparación de medias. Para todas las pruebas estadísticas se utilizó el programa MINITAB® 21. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado, con excepción de textura que fueron 5 repeticiones por día de almacenamiento por tratamiento.

3. Resultados y discusión

En la tabla 2 se pueden observar las características reológicas en suspensión de las harinas utilizadas. Los valores obtenidos para sorgo fueron similares a los reportados por Usman et al. (2024) tanto para sorgo sin extruir como extruido (1,386.50 cP y 114.00 cP, respectivamente, como valor de viscosidad máxima). En tanto que los datos para harina de lenteja entera y extruida se asemejan a lo reportado por Masatcioglu y Koksel (2019) obteniendo 285 cP y 84 cP, respectivamente. El tratamiento de extrusión de las harinas enteras derivó en una modificación del almidón presente, reduciendo de manera significativa los parámetros de viscosidad máxima y final (Tabla 2). Durante el proceso de extrusión, las partículas de almidón absorben agua rápidamente y se hinchan, mientras que el calor, las fuerzas de corte y la presión inducen la gelatinización del almidón, lo que da lugar a una transición de una estructura ordenada a una desordenada (Qiu et al. 2024). La gelatinización del almidón resulta en una notable disminución de la viscosidad máxima. En el caso de la harina de trigo, los valores fueron menores que los reportados por Iaconivo et al. (2025) para harinas italianas suaves (2,150 cP y 2,480 cP para viscosidad máxima y final, respectivamente). Estos resultados nos indican que es una harina suave adecuada para la elaboración de galletas.

Según Ragaee y Addel-Aal (2006), el menor valor promedio de viscosidad máxima de los trigos

suaves puede estar asociado con una menor hinchazón de los gránulos de almidón. Se puede observar como a mayor porcentaje de sustitución de harina de trigo por harina de lenteja se reduce el valor de viscosidad máxima y viscosidad final. Esto se debió a que los valores de ambas viscosidades fueron inferiores en el caso de la harina de lenteja entera extruida y la de sorgo rojo extruida. El tiempo que toma llegar a la viscosidad máxima fue estadísticamente el mismo para el tratamiento con sustitución al 20 % que para el tratamiento 100 % trigo, mientras que los tratamientos con un porcentaje de sustitución superior fueron estadísticamente menores. La extrusión deja al almidón ya transformado (pregelatinizado, parcialmente degradado y con menos cristalinidad), por lo que necesita menos tiempo para desarrollar la viscosidad máxima en RVA.

Tabla 2. Datos de viscosidad máxima, tiempo de pico máximo y viscosidad final de harina de trigo, harinas antes de extrusión y después de extrusión (sorgo y lenteja), así como las mezclas de harinas utilizadas para la elaboración de galletas. Letras diferentes en la misma columna representan diferencia estadística ($p>0.05$)¹

Table 2. Data on peak viscosity, peak time, and final viscosity of sorghum and lentil with and without extrusion, wheat flour and composite flours used of biscuit production. Different letters in the same column represent a statistical difference ($p>0.05$)¹

Harina	Viscosidad máxima (cP)	Tiempo de viscosidad máxima (min)	Viscosidad Final (cP)
Sorgo entero	1,276.0 ^b	6.4 ^e	1,653.3 ^b
Lenteja entera	239.5 ^f	7.0 ^d	430.0 ^e
Sorgo extruido	343.6 ^e	3.4 ^f	275.9 ^g
Lenteja extruida	64.5 ^h	2.1 ^g	71.8 ^h
Tratamiento 00	1,779.0 ^a	8.9 ^a	2,012.7 ^a
Tratamiento 01	1,086.7 ^c	8.4 ^a	1,401.3 ^c
Tratamiento 02	597.3 ^d	8.1 ^b	799.0 ^d
Tratamiento 03	282.0 ^g	7.9 ^b	354.3 ^f

¹El tratamiento 00 corresponde a 100% harina de trigo, el tratamiento 01 80:20 harina trigo:harina de lenteja extruida, tratamiento 02 60:40 harina de trigo:harina de lenteja extruida, tratamiento 03 30:40:30 harina de trigo:harina de lenteja extruida:harina de sorgo extruido.

En cuanto a las galletas, en la tabla 3 se pueden observar los valores de color, índice de expansión, a_w , humedad, proteína cruda, extracto crudo y cenizas. En términos de color se puede apreciar que la sustitución parcial tanto por harina de lenteja extruida como por harina de sorgo rojo extruida redujeron el valor de L^* (luminosidad) y b^* (amarillo), pero se incrementa el valor de a^* (rojo) en las galletas elaboradas. Esto se debe al hecho de que ambas harinas son de tonalidades rojizas, siendo más intenso en el caso de la harina de sorgo por ser una variedad roja. En lo que respecta al índice de expansión, al aumentar el nivel de sustitución de harina extruida de lenteja o sorgo, se aumentó este valor. Este efecto fue debido a la sustitución por harinas extruidas. El aumento en el índice de expansión con la sustitución por almidón extruido también se atribuye a la reducción en la consistencia de la masa, ya que una menor consistencia permite una expansión más rápida de la galleta (Sharma et al. 2016) siendo también similar a lo reportado por Aslan Turker (2024) en un trabajo con diferentes variedades de lenteja y Rahman et al. (2025) donde utilizaron harinas de trigo, garbanzo y sorgo germinadas. Las harinas extruidas opusieron menos resistencia a la deformación

de la masa, por lo que aumentaron el índice de expansión. Esto está asociado con las propiedades reológicas (Tabla 2) de las mezclas de harinas donde se puede observar una reducción en el valor de viscosidad. Maache-Rezzoug et al. (1998) reportaron que a menor viscosidad de la masa que se usa en la elaboración de galletas se tiene un producto final con mayor diámetro y menor altura esto es debido a que la baja viscosidad da lugar a una mayor expansión de la masa durante el proceso de horneado, resultando un producto final con mayor diámetro, además que, al extenderse más, se aplana contribuyendo a una menor altura. Estos datos coinciden con los reportados en este trabajo.

La humedad en galletas está dentro de los valores esperados para este tipo de productos y es similar a la reportada por Rahman et al. (2025). A pesar de que todas las galletas tuvieron valores similares en el contenido de humedad, la actividad de agua, se ve reducida en el producto terminado elaborado con harinas compuestas, esto se puede asociar con la presencia de las proteínas de lenteja ya que en un estudio realizado por Sahni y Sharma (2023) con aislados proteicos de alfalfa observaron una reducción en la actividad de agua de las galletas.

El contenido de extracto etéreo en las galletas se redujo. Nuevamente el efecto de la dilución de la harina de trigo por harina extruida resultó en este cambio, y esto se debe a la composición de las harinas, ya que en promedio el contenido de grasa en la harina de trigo es de 2.5 % (Pareyt et al. 2011) y en lenteja de solo 0.5 % (Liberal et al. 2024). En el caso del contenido de cenizas en galletas, este valor se ve incrementado al utilizar las harinas extruidas, esto está asociado al hecho de que la harina de trigo utilizada es refinada, en tanto que para las harinas extruidas se utilizaron granos enteros. Las lentejas contienen mayor cantidad de minerales, por lo que, a mayor sustitución, mayor cantidad de cenizas (Tabla 3).

Tabla 3. Color, índice de expansión, actividad de agua, humedad, proteína cruda, extracto etéreo y cenizas de galletas producidas con diferentes harinas compuestas. Letras diferentes en la misma fila representan diferencia estadística a un valor $p > 0.05$ ¹

Table 3. Color, expansion index, water activity, moisture, crude protein, ether extract and ash proximate composition of biscuits produced with different composite flours. Different letters in the same row represent a statistical difference ($p > 0.05$)¹

Parámetro	00	01	02	03
Color				
L	68.21 ^a	66.60 ^b	65.55 ^b	56.20 ^d
a	1.13 ^d	1.49 ^c	1.79 ^b	8.55 ^a
b	26.90 ^a	22.36 ^b	21.35 ^c	16.83 ^d
Índice de Expansión	4.78 ^d	6.04 ^c	7.60 ^b	10.04 ^a
a _w	0.79 ^a	0.75 ^b	0.74 ^b	0.74 ^b
Humedad %	4.00 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a	4.00 ^a
Proteína Cruda %	9.41 ^b	10.16 ^b	11.58 ^a	10.81 ^{ab}
Extracto Étereo %	15.44 ^a	13.00 ^b	11.30 ^c	11.07 ^c
Cenizas %	1.72 ^c	2.65 ^b	3.15 ^a	3.59 ^a

¹El tratamiento 00 corresponde a 100% harina de trigo, el tratamiento 01 80:20 harina trigo:harina de lenteja extruida, tratamiento 02 60:40 harina de trigo:harina de lenteja extruida, tratamiento 03 30:40:30 harina de trigo:harina de lenteja extruida:harina de sorgo extruido. Porcentajes en base húmeda.

Las galletas con el mayor contenido de proteína fueron las que tuvieron un 40 % de harina de lenteja extruida (Tratamientos 02 y 03). Este resultado estuvo asociado a la sustitución de la harina de trigo por lenteja en productos tipo galleta es similar a lo reportado por Imran et al. (2024), quien reporta en galleta con harina de trigo 5 % de proteína que al adicionar 20 % de harina de leguminosas se incrementa a 8 %.

La utilización de harina de lenteja y harina de sorgo rojo extruidas da lugar a un producto que en términos de color es menos brillante, más rojizo y menos amarillo, con un mayor índice de expansión, menor Aw, menos grasa, pero mayor contenido de proteína y cenizas.

La textura de una galleta es crucial para la experiencia del consumidor. En general, la textura de las galletas está relacionada principalmente con las propiedades mecánicas de las mismas. Dentro de la estructura de la galleta, células de gas de diferentes tamaños y formas, se encuentran embebidas dentro de una matriz compuesta por almidón, grasa y azúcar. El nivel de sustitución de alguno de estos elementos va a tener efecto en las propiedades mecánicas de la galleta y, por lo tanto, en su textura (Arepally et al., 2023). En la tabla 4 se pueden observar los valores de textura y sus cambios durante los 7 días de almacenamiento a 25 °C.

Inicialmente, el producto con mayor dureza se generó con el Tratamiento 03. Esto estuvo relacionado por una parte por el aumento de contenido de proteína (Tabla 3) y por la gelatinización y parcial dextrinización del almidón de sorgo debido a la extrusión (Tabla 2), ya que al disolverse en el agua se genera una solución viscosa que al secarse después del horneado adquiere una mayor dureza, de forma amorfa y vítrea, dando lugar a ese incremento (De Almeida Marques et al., 2016). Sin embargo, al realizar el análisis por regresión lineal de los cambios en textura durante los 7 días de prueba se puede observar que la pendiente de cambio es mayor cuando se utiliza en la elaboración de galletas solo harina de trigo, pero también es la que menos se ajusta a un modelo lineal con un valor de R^2 de 0.63. Al aumentar la proporción de lenteja esta pendiente, se reduce.

Tabla 4. Dureza y fracturabilidad de galletas elaboradas con diferentes harinas almacenadas por 7 días a 25 °C. Letras diferentes en la misma columna representan diferencia entre tratamientos con un valor $p > 0.05$ ¹

Table 4. Hardness and fracturability of biscuits made with different flours and storage for 7 days at 25 °C. Different letters in the same column represent differences between treatments with a $p > 0.05$ ¹.

Tratamiento	Dureza (kg)						Fracturabilidad (g)					
	Día 0	Día 1	Día 7	A	b	R ²	Día 0	Día 1	Día 7	A	b	R ²
00	2.180 ^c	27.51 ^a	37.04 ^a	3.78	12.12	0.63	0.41 ^d	7.82 ^a	10.31 ^a	1.06	3.37	0.61
01	3.242 ^b	19.29 ^b	27.68 ^b	2.76	9.37	0.71	0.56 ^c	2.49 ^b	8.36 ^b	1.07	0.96	0.99
02	3.493 ^b	12.48 ^d	21.33 ^c	2.17	6.64	0.85	0.63 ^b	3.10 ^c	5.95 ^d	0.66	1.47	0.88
03	10.32 ^{2a}	14.81 ^c	19.94 ^c	1.19	11.84	0.88	2.78 ^a	3.02 ^c	6.82 ^c	0.60	2.62	0.99

¹El tratamiento 00 corresponde a 100% harina de trigo, el tratamiento 01 80:20 harina trigo:harina de lenteja extruida, tratamiento 02 60:40 harina de trigo:harina de lenteja extruida, tratamiento 03 30:40:30 harina de trigo:harina de lenteja extruida:harina de sorgo extruido

En el caso del uso de sorgo, la pendiente fue la menor de todas y el valor de ajuste de R aumentó (Tabla 4). En lo que respecta a la fracturabilidad, tenemos que las galletas requieren más fuerza para romperse en el tratamiento 03. En todos los casos presenta cambios y al momento de modelar se observa que las galletas de los tratamientos 00 (solo harina de trigo) y 01 son los que tienen una mayor pendiente de cambio, lo que se puede asociar a una menor estabilidad bajo las condiciones estudiadas en este trabajo. La variación en textura y fracturabilidad en galletas de trigo han sido previamente reportados (Balestra et al. 2019) y se asocian como cambios en el contenido de humedad y actividad de agua debido a la migración de humedad y su redistribución dentro de las galletas teniendo efecto sobre las propiedades físicas de los componentes y sus interacciones (Balestra et al. 2019).

Hasta el momento de realizar este trabajo, no hemos encontrado reportes sobre cambios texturales en galletas con harinas compuestas, siendo este trabajo uno de los primeros acercamientos al tema. De ahí la relevancia de conocer este aspecto en este tipo de productos.

4. Conclusions

La sustitución de harina de trigo por 40 % de harina de lenteja extruida y 30 % de harina de sorgo extruida da lugar a una galleta con mayor índice de expansión, contenido de proteína y cenizas, con menos cambios en textura durante los primeros 7 días posteriores a su producción almacenada a 25 °C. La utilización de harina entera extruida de lenteja y sorgo aumenta el aporte de proteína de la galleta sin comprometer la actividad de agua ni la textura del producto. Esta investigación sienta un precedente para que la industria de panadería y snacks considere la integración de harinas de leguminosas y cereales extruidos en las formulaciones de productos, contribuyendo así a la diversificación de ingredientes y la producción sostenible de alimentos.

Contribuciones de los autores

La conceptualización fue realizada por SGF y EPC. En el presente artículo se realizó la metodología proyecto fue realizada por SGF. El desarrollo y producción de la harina de garbanzo en el extrusor fue realizado por EHO. El proceso de análisis fue desarrollado por SGF y EPC. La redacción del artículo fue realizada por y la revisión de artículo la hizo AACG y EPC. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

Conflicto de interés

Los autores declaran que **no existe ningún conflicto de interés, real o potencial**, que pudiera haber influido en la realización de la presente investigación o en la interpretación de sus resultados.

5. Referencias

AACC International. (2010). AACC International Approved Methods of Analysis, (11th ed.). Method 10-31.03 (St. Paul, MN).
<https://www.cerealsgrains.org/resources/methods/Pages/default.aspx>

- AOAC. (2000). Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry, (17th ed.). Gaithersburg MD, USA.
- Arepally, D., Reddy, R. S., Coorey, R., & Goswami, T. K. (2023). Evaluation of functional, physicochemical, textural and sensorial properties of multi-millet-based biscuit. *International Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 2437-2447. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16381>
- Aruna, C., Meena, K., Visarada, K. B. R. S., Hariprasanna, K., Deepika, C., Venkateswarlu, R., Venkateswarly, R., Das, I.K., Meena, D.K., Madhusudhana, R. & Satyavathi, C. T. (2025). Red sorghum variety: A dual solution for functional food and grain mold resistance. *Journal of Cereal Science*, 123, 104150. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2025.104150>
- Aslan Türker, D. (2024). Determination of the physical quality, structural characteristics, and sensory acceptability of biscuits prepared from einkorn-based lentil composite flours. *Harran Tarım Ve Gıda Bilimleri Dergisi*, 28(3), 430-443. <https://doi.org/10.29050/harranziraat.1477200>
- Balestra, F., Verardo, V., Tappi, S., Caboni, M. F., Dalla Rosa, M., & Romani, S. (2019). Chemical and physical changes during storage of differently packed biscuits formulated with sunflower oil. *Journal of food science and technology*, 56(10), 4714-4721. <https://doi.org/10.1007/s13197-019-03918-z>
- Becerril-Ibarra, O. A., Sosa-Morales, M. E., Rodriguez-Hernández, G., & Gómez-Salazar, J. A. (2019). Efecto de la concentración de harina de garbanzo en las propiedades físicoquímicas de salchicha tipo frankfurt durante su almacenamiento. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 4(686-694). <http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume4/4/7/96.pdf>
- Camara, F., Coulibaly, W. H., Mian, T. M. A. S., Ahoussi, K. J. B., Coulibaly, S., Varadarajan, V., Diguta, C., & Matei, F. (2025). Household production of cookies from sorghum (*Sorghum bicolor*) with a low glycaemic index in prevention and management of type 2 diabetes in Côte d'Ivoire. *Current Nutrition & Food Science*, 21(3), 341-349. <http://dx.doi.org/10.2174/0115734013307493240627033411>
- de Almeida Marques, G., de São José, J. F. B., Silva, D. A., & da Silva, E. M. M. (2016). Whey protein as a substitute for wheat in the development of no added sugar cookies. *LWT-Food Science and Technology*, 67, 118-126. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.11.044>
- Dewan, M. F., Shams, S. N. U., & Haque, M. A. (2024). A review of the health benefits of processed lentils (*Lens culinaris* L.). *Legume Science*, 6(2), e232. <https://doi.org/10.1002/leg3.232>
- Espinosa-Ramírez, J., Rodríguez, A., De la Rosa-Millán, J., Heredia-Olea, E., Pérez-Carrillo, E. & Serna-Saldívar, S. O. (2021). Shear-induced enhancement of technofunctional properties of whole grain flours through extrusion. *Food Hydrocolloids* 111, 106400. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106400>
- Felisiak, K., Przybylska, S., Tokarczyk, G., Tabaszewska, M., Słupski, J., & Wydurska, J. (2024). Effect of chickpea (*Cicer arietinum* L.) flour incorporation on quality, antioxidant properties, and bioactive compounds of shortbread cookies. *Foods*, 13(15), 2356. <https://doi.org/10.3390/foods13152356>
- Flores-Quintanilla, R.D., & Pérez-Carrillo, E. (2022). Evaluation of the effect of replacing shortening for sesame paste (*Sesamum indicum*) in nixtamalized maize cookies. *Food Research*, 6(5):365-369. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.6\(5\).602](https://doi.org/10.26656/fr.2017.6(5).602)

- Iacovino, S., Garzon, R., Rosell, C. M., Marconi, E., Albors, A., & Martín-Esparza, M. E. (2025). Evaluation of the technological performance of soft wheat flours for fresh-pasta production as affected by industrial refining degree. *Food and Bioprocess Technology*, 18, 2854–2866. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03638-z>
- Imran, A., Suleria, H. A., Arshad, M. U., Wei, C. R., Zarikian, N. A., Afzaal, M., & Islam, F. (2024). Unleashed protein power: redefining baked goods with legume flour mixtures. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2407652. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2407652>
- Jarpa-Parra, M. (2018). Lentil protein: A review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 892-903. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13685>
- Liberal, Â., Almeida, D., Fernandes, Â., Pereira, C., Ferreira, I. C. F. R., Vivar-Quintana, A. M., & Barros, L. (2024). Nutritional, chemical, and antioxidant screening of selected varieties of lentils (*Lens culinaris* spp.) from organic and conventional agriculture. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 104(1), 104-115. <https://doi.org/10.1002/jsfa.12896>
- Maache-Rezzoug, Z., Bouvier, J. M., Allaf, K., & Patras, C. (1998). Effect of principal ingredients on rheological behaviour of biscuit dough and on quality of biscuits. *Journal of Food Engineering*, 35(1), 23-42. [https://doi.org/10.1016/S0260-8774\(98\)00017-X](https://doi.org/10.1016/S0260-8774(98)00017-X)
- Masatcioglu, M.T., & Koksels, F. (2019). Functional and thermal properties of yellow pea and red lentil extrudates produced by nitrogen gas injection assisted extrusion cooking. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(15), 6796-6805. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9964>
- Mba, J. C., Paes, L. T., Viana, L. M., Ferreira, A. J. C., Queiroz, V. A. V., Martino, H. S. D., Azevedo, L., de Carvalho, C. W. P., Felisberto, M. H. F., & de Barros, F. A. R. (2023). Evaluation of the physical, chemical, technological, and sensorial properties of extrudates and cookies from composite sorghum and cowpea flours. *Foods*, 12(17), 3261. <https://doi.org/10.3390/foods12173261>
- Moin, A., Hosseini, E., Smaoui, S., & Varzakas, T. (2025). Research progress on lentil-based composite flours: physicochemical, techno-functional properties, and high-performance food applications. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 17(2), 232-250. <https://doi.org/10.15586/qas.v17i2.1540>
- Pareyt, B., Finnie, S. M., Putseys, J. A., & Delcour, J. A. (2011). Lipids in bread making: sources, interactions, and impact on bread quality. *Journal of Cereal Science*, 54(3), 266-279. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.08.011>
- Qiu, C., Hu, H., Chen, B., Lin, Q., Ji, H., & Jin, Z. (2024). Research progress on the physicochemical properties of starch-based foods by extrusion processing. *Foods*, 13(22), 3677. <https://doi.org/10.3390/foods13223677>
- Rahman, S., Kumar Dubey, P., & Singh, H. (2025). Development of a cost-effective and protein-enhanced germinated cereal–legume–millet flour based multigrain cookie: a step towards sustainable goals. *International Journal of Food Science and Technology*, 60(1), vvae064. <https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae064>
- Ragaei, S., & Addel-Aal, E. A. (2006) Pasting properties of starch and protein in selected cereals and quality of their food products. *Food Chemistry*, 95(1), 9–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.12.012>

- Sahni, P., & Sharma, S. (2023). Quality characteristics, amino acid composition, and bioactive potential of wheat cookies protein-enriched with unconventional legume protein isolates. *Quality Assurance and Safety of Crops & Foods*, 15(2), 1-10. <https://doi.org/10.15586/qas.v15i2.1160>
- Sharma, S., Singh, N., & Katyal, M. (2016). Effect of gelatinized-retrograded and extruded starches on characteristics of cookies, muffins and noodles. *Journal of Food Science and Technology*, 53, 2482–2491. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2234-8>
- Şeren, E., & Çelekli, A. (2025). Functional biscuits with alternative protein sources. Proceeding Book of 4th International Conference on Contemporary Academic Research ICCAR 2025. pp. 355-360. Published by: All Science Academy. Konya, Turkey. <https://aperta.ulakbim.gov.tr/record/274323>
- Taipe-Lucas, C., Espinoza-Calderón, G. A., Ruiz-Rodríguez, A., & Salazar-Silvestre, E. (2021). Principios metodológicos fundamentales para las mezclas alimenticias instantáneas con harina de haba, quinoa y maíz. *Polo del Conocimiento: Revista científico-profesional*, 6(5), 1128-1154. <https://polodelconocimiento.com/ojs/index.php/es/article/view/2734/5762>
- Usman, S., Suhartono, M. T., Purwani, E. Y., Sitanggang, A. B., & Trisnawati, W. (2024). Characteristics of sorghum flour modified with physical and enzymatic treatments. *Emirates Journal of Food and Agriculture*, 36, 1-9. <https://doi.org/10.3897/ejfa.2024.119095>

2025 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

Esta obra está bajo la Licencia Creative Commons Atribución No Comercial 4.0 Internacional.



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