

Caracterización fisicoquímica y nutracéutica de galletas enriquecidas con amaranto germinado-extrudido

Physicochemical and nutraceutical characterization of enriched cookies with germinated-extruded amaranth

Evelia María Milán-Noris^{1,2}, Perla Guadalupe Araujo-Tellez¹, Jorge Milán-Carrillo^{1,3}, Alvaro Montoya-Rodríguez^{1,2} y Ada Keila Milán-Noris^{1,2,3*}

¹ Laboratorio de Nutraceuticos (18). Facultad de Ciencias Químico Biológicas (FCQB). Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS). Blv. de las Américas y Josefa Ortiz de Domínguez, S/N, Culiacán Sinaloa México.

² Posgrado en Ciencias de la Nutrición y Alimentos Medicinales. UAS. Facultad de Ciencias de la Nutrición y Gastronomía, Av. Cedros S/N, Culiacán, Sinaloa México.

³ Programa integral para el Posgrado en Biotecnología. FCQB-UAS. Ciudad Universitaria, AP 1354, C.P. 80000, Culiacán, Sinaloa, México

*Correspondencia: Correo electrónico: keilamilan@uas.edu.mx (Ada Keila Milán-Noris)

DOI: <https://doi.org/10.54167/tch.v20i1.2171>

Recibido: 12 de diciembre de 2025; Aceptado: 14 de mayo de 2026

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

Editor de Sección: Dr. Armando Quintero-Ramos

Resumen

El amaranto posee buenas características nutricionales, nutracéuticas y además es libre de gluten, lo que lo hace interesante para ser incorporado en la industria alimentaria. Procesamientos como la extrusión y germinación modifican las características bioquímicas del amaranto. El objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y nutracéuticas en galletas de amaranto crudo, germinado, extrudido y germinado-extrudido. Las galletas se elaboraron con solo amaranto (100 %) o suplementadas con trigo (50 %). Se determinó composición proximal, color, actividad de agua (aw), compuestos fenólicos totales (CFT), capacidad antioxidante (CAoX) y digestión de proteína in vitro. La suplementación con amaranto procesado (germinado y extrudido 50 %) produjo cambios ($p < 0.05$) en el color de las galletas y se mantuvo la aw en niveles adecuados, donde se evita el crecimiento de microorganismos. Las galletas con amaranto presentaron valores más altos en el contenido de proteína (1.06 a 1.26 veces más), CFT (1.50 a 10 veces más) y CAoX (1.32 a 9.0 veces más), comparado con la galleta de trigo. La galleta con 100 % amaranto germinado (GAG100) tuvo los valores más altos de CFT y CAoX. La digestión de proteína de las galletas fue mejor en la galleta con amaranto extrudido suplementada con trigo al 50 % (GAET50). En conclusión, el amaranto procesado, tanto extrudido como germinado o ambos en

conjunto, resulta un ingrediente muy interesante para el desarrollo de galletas funcionales o libres de gluten.

Palabras clave: galletas, atributos fisicoquímicos, alimentos funcionales, germinación, extrusión.

Abstract

Amaranth has a high potential to be incorporated into the food industry due to its nutritional value, its nutraceutical characteristics and it is a gluten-free grain. Processing methods as extrusion and germination modify its biochemical characteristics. The aim of this work was to characterize the physicochemical, nutritional and nutraceutical properties of cookies of raw, extruded, germinated and germinated-extruded amaranth. The cookies were manufactured only with amaranth (100 %) or supplemented (50 %) with wheat. Proximate composition, color, water activity, total phenolic content (CFT), antioxidant capacity (CAoX) and in vitro protein digestibility were determined. The supplementation with processed amaranth (germinated and extruded at 50 %) produced changes ($p < 0.05$) in cookies color and water activity was maintained at adequate levels to prevent the growth of microorganism. The cookies with amaranth showed higher values in protein content (1.06 to 1.26 times plus), CFT (1.50 to 10 times plus) and CAoX (1.32 to 9.0 times plus), compared to control wheat cookie. The cookie of germinated amaranth (GAG100) has the highest CFT and CAoX levels. The cookie of extruded amaranth, supplemented with wheat at 50 % (GAET50) showed the best in vitro protein digestion value among cookies. In conclusion, processed amaranth, extruded, germinated or extruded-germinated, is a very interesting ingredient for the development of functional foods or gluten free cookies.

Keywords: cookies, physicochemical attributes, functional foods, germination, extrusion.

1. Introducción

Alrededor del mundo, los productos horneados como las galletas, son alimentos básicos que se distinguen por aportar un contenido energético alto y ser de baja humedad, lo que incrementa su vida de anaquel en comparación con otros alimentos (Díaz y Hernández, 2012). Hoy en día, la sociedad se caracteriza por una alimentación con alto consumo de alimentos con bajo valor nutricional, los cuales poseen grandes cantidades de grasas saturadas, azúcares refinados, aditivos, conservadores y presentan un alto contenido calórico (Hall, 2016). Las galletas son un tipo de producto con bastante aceptación en diferentes grupos de edades, ya que son bocadillos elaborados mayoritariamente a base de harina de trigo obtenidas mediante el proceso de cocción en horno. Estos productos presentan variaciones en su composición nutricional, lo cual está relacionado con la materia prima utilizada, por lo que incorporar ingredientes ricos en proteínas, antioxidantes y fibra (Martínez et al., 2017), aporta ventajas marcadas sobre las galletas convencionales caracterizadas por altos contenidos de azúcares y grasas.

Dichas ventajas dependerán directamente del grano a utilizar como base para la elaboración de galletas (como lo es el trigo y amaranto), ya que estas ventajas en componentes nutrimentales o nutraceuticos son inherentes a la materia prima desde su producción, hasta su consumo final. En el caso del amaranto, un grano popular desde las civilizaciones azteca, maya e inca, su potencial como

cultivo está basado en diferentes factores como su capacidad para crecer en diversas áreas con buenos rendimientos, su resistencia a las plagas, temperaturas altas y sequías, junto con su composición química atractiva y su alto valor nutricional en comparación con otros granos (Bressani, 1994). Dichas características hacen del amaranto un cultivo prometedor, ya que se puede producir en condiciones climáticas variables, haciéndolo una opción favorable para la producción y consumo en áreas marginadas del país. Además, puede ser incluido en una amplia gama de productos tales como granola, productos panificados, pastas y los alimentos extrudidos. Asimismo, su potencial uso como concentrado proteico y en la elaboración de barras energéticas y alimentos funcionales y nutricionales diseñados para mejorar la salud (Luis et al., 2018).

El amaranto es una de las fuentes más importantes de proteína vegetal, con un contenido proteico superior al de los cereales comunes (13 a 19 %), destacando principalmente por su buen balance de aminoácidos esenciales, por lo que su proteína es de una calidad excepcionalmente alta, particularmente por el contenido de lisina, el cual es aminoácido limitante en cereales como el maíz, trigo y arroz (Montoya-Rodríguez et al., 2015a). La proteína de amaranto también es relativamente rica en aminoácidos azufrados, los cuales son aminoácidos limitantes en las leguminosas (Segura-Nieto et al., 1994). Aunado a esto, el grano de amaranto está reconocido como alimento libre de gluten, siendo apto para consumo en pacientes con enfermedad celiaca (Mlakar et al., 2009). El amaranto es fuente rica de fibra soluble e insoluble, vitaminas y minerales, así como metabolitos secundarios como compuestos fenólicos y pigmentos tales como las betacianinas (Alegbejo, 2014; Miguel, 2018). Debido a sus cualidades nutricionales y nutraceuticas, se le ha atribuido al amaranto un potencial efecto benéfico a la salud, ya que se ha documentado tener actividad antioxidante, antiinflamatoria, anti aterosclerótica, entre otras (Montoya-Rodríguez et al., 2014a; Montoya-Rodríguez et al., 2014b; Suárez et al., 2016; Aragón-Gutiérrez et al., 2018).

Hoy en día, las necesidades de la sociedad radican en el interés por alimentos que aporten un efecto benéfico a la salud, encontrando una creciente preocupación por la conexión entre el estado de salud personal y el tipo de alimentación que se posee (Alvídrez-Morales et al., 2002). En este sentido, la adición de harina de amaranto en productos reposteros como las galletas, representa una opción para crear alimentos funcionales que ofrecen beneficios a la salud (Cavieres et al., 2016). La obtención de las harinas y mejora de sus propiedades puede lograrse mediante procesos complementarios como la germinación y la extrusión. Se ha reportado que el proceso de germinación produce un incremento en las propiedades nutraceuticas del amaranto, al liberar compuestos con potencial actividad antioxidante, pasando de 2.13 a 12.6 mmol equivalentes de Trolox por 100 g base seca (mmol ET/100 g, b. s.) para amaranto sin procesar y amaranto germinado, respectivamente (Perales-Sánchez et al., 2014; Chauhan et al., 2015).

Por otro lado, se ha documentado que el proceso de extrusión incrementa el potencial biológico del amaranto, al liberar péptidos con actividad biológica, aumentando la inhibición de marcadores pro-ateroscleróticos de un 0 % a un 27 % para amaranto sin procesar y amaranto extrudido, respectivamente (Montoya-Rodríguez et al., 2014b). El proceso de germinación, seguido del proceso de extrusión es una alternativa para producir una harina con potencial uso en la elaboración de productos de panificación, ya que dicha combinación de procesos ha mostrado que incrementa propiedades nutraceuticas y nutricionales de las harinas obtenidas (Madrigales-Reátiga et al., 2024). El reemplazo de cereales comunes con harinas germinadas-extrudidas de forma parcial o total podría representar una alternativa para el elaborar alimentos funcionales novedosos.

El objetivo de esta investigación fue caracterizar las propiedades fisicoquímicas, nutricionales y nutraceuticas de galletas de amaranto crudo, germinado, extrudido y germinado-extrudido. Las galletas elaboradas fueron de amaranto crudo, extrudido, germinado y germinado-extrudido al 100 %; así como también galletas de amaranto crudo, extrudido, germinado y germinado-extrudido suplementadas con 50 % de trigo.

2. Materiales y métodos

2.1 Materiales

Se utilizó amaranto con buenas características agronómicas, cosechado en 2022 en Temoac, Morelos, México. Los granos, después de su recolección, fueron limpiados y almacenados en recipientes herméticos (-20 °C) hasta su utilización. Los ingredientes para las galletas y la harina de trigo se compraron en un mercado local.

2.2 Métodos

2.2.1 Germinación y extrusión

Para germinar el amaranto se utilizó la metodología descrita por Sandoval-Sicairos et al., (2020). Las semillas se germinaron 78 h en periodos de luz/oscuridad (12 h/12 h) a 30 °C y 80 % de humedad relativa en una cámara de germinación (Percival Scientific DR36VL, Geneva Scientific Lab Equipment Solutions). Las muestras se secaron en un deshidratador a 55 °C por 24 h. Mientras que el proceso de extrusión se llevó a cabo de acuerdo con lo reportado por Montoya-Rodríguez (2011). La harina de amaranto sin procesar y germinado se sometieron a extrusión con las siguientes condiciones: humedad 28 %, temperatura de extrusión 105 °C y velocidad de tornillo 242 rpm, en un extrusor de tornillo simple Modelo 20 DN (CW Brabender Instruments, Inc., NJ, EUA) con un diámetro de tornillo de 19 mm longitud-diámetro 20:1, compresión nominal 2:1, utilizando un dado de salida de 3 mm y una velocidad de alimentación de 30 rpm. Las muestras de amaranto sin procesar, germinado, extrudido y germinado-extrudido se sometieron a molienda (UD Cyclone Sample Mill, UD Corp, Boulder, CO, EUA) hasta pasar a través de malla 80 (0.180 mm), las harinas obtenidas se empacaron en bolsas polietileno y se almacenaron a 4 °C hasta su utilización.

2.2.2 Elaboración de galletas

Las galletas se elaboraron de acuerdo con lo descrito por Mudgil et al. (2017) con ligeras modificaciones. La formulación base se muestra en la Tabla 1. Para iniciar, se pesaron todos los ingredientes. Después, en un recipiente se mezclaron los ingredientes secos, las harinas (de trigo, amaranto o las mezclas), polvo para hornear y sal. En otro recipiente se colocó la mantequilla y manteca vegetal con un huevo previamente batido y se agitó con la batidora (KitchenAid® 4.7 L, KSM150PSJP) mientras se añadía el azúcar, una vez mezclados, los ingredientes secos se fueron incorporados poco a poco a la mezcla. La masa ya preparada se colocó y se extendió en papel encerado. La masa estirada se cortó utilizando un molde de galletas (4 cm de diámetro) para dar

forma. Las galletas se colocaron en charolas (38 x 25 cm) y se hornearon por 10 min a 185 °C en horno convencional estufa MABE® previamente calentado, posteriormente las galletas se enfriaron a temperatura ambiente. Las galletas resultantes tuvieron un grosor de 0.51 a 0.62 cm y diámetro de 3.19 a 3.74 cm. Se elaboraron 30 galletas de cada grupo por duplicado para análisis posteriores.

Tabla 1. Formulación base de las galletas.

Table 1. Cookies formulation

Ingrediente (%)	GT	GACT 50	GAET 50	GAGT 50	GAGET 50	GAC 100	GAE 100	GAG 100	GAGE 100
Harina de trigo	53.5	26.75	26.75	26.75	26.75				
Harina de amaranto		26.75	26.75	26.75	26.75	53.5	53.5	53.5	53.5
Huevo	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Polvo de hornear	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
Mantequilla	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Manteca vegetal	13	13	13	13	13	13	13	13	13
Sal	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Azúcar	15	15	15	15	15	15	15	15	15

GT. Galleta control de trigo. GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p). GAC100. Galleta de amaranto crudo. GAE100. Galleta de amaranto extrudido. GAG100. Galleta de amaranto germinado. GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido.

GT. Control cookies of wheat. GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w). GAC100. Raw amaranth cookie. GAE100. Extruded amaranth cookie. GAG100. Germinated amaranth cookie. GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie.

2.3 Propiedades fisicoquímicas

La actividad de agua (a_w) fue determinada utilizando un medidor de actividad de agua Aqua Lab Serie 3B (Decagono, Devices Inc, Pullman, WA, EUA). La lectura se realizó en 10 galletas de cada grupo (Shafi et al., 2016) por triplicado. El color se determinó utilizando un colorímetro Minolta (CR-400, Minolta LTD, Japón) usando el sistema de color CIE- $L^*a^*b^*$ (CIE-Lab). Se registraron los valores de color (L^* , a^* y b^*) de 25 galletas de cada grupo por triplicado (Kaderides et al., 2020). La diferencia total de color (ΔE) se calculó comparando con la galleta de trigo utilizando un mosaico blanco (Kaderides et al., 2020), aplicando la ecuación (Ec. 1):

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2} \quad \text{Ec. (1)}$$

Por otra parte, se calcularon el ángulo de color (H) y croma (C) usando las ecuaciones (Ecs. 2-4):

$$H = \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Ec. (2)}$$

si $a^* < 0$ y $b^* > 0$ entonces

$$H = 180 + \arctan \frac{b^*}{a^*} \quad \text{Ec. (3)}$$

$$C = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}} \quad \text{Ec. (4)}$$

2.4 Análisis proximal

Se utilizaron los siguientes métodos de la AOAC (1999) para la determinación de la composición proximal: secado a 105 °C durante 24 h, para determinar la humedad (Método 925.09 B); incineración a 550 °C, para cenizas (Método 923.03); desgrasado en aparato Soxhlet con éter de petróleo para lípidos (Método 920.39 C); microKjeldahl para proteína (Método 960.52). Se usó el Kit de ensayo Megazyme [Total Starch Assay Kit (AA/AMG)] para medir el contenido de almidón total. La absorbancia se midió a 510 nm utilizando un espectrofotómetro UV-Visible (Thermo Scientific 201 Evolution, Multiskan GO, Madison, EUA) (Cornejo et al., 2019). Todas las evaluaciones se realizaron por triplicado y la determinación de otros carbohidratos se realizó por diferencia, de acuerdo con la ecuación (Ec. 5):

$$\text{Otros carbohidratos (\%)} = 100 - (\text{proteína} + \text{grasas} + \text{humedad} + \text{cenizas} + \text{almidón}) \quad \text{Ec. (5)}$$

El contenido de carbohidratos se presentó como otros carbohidratos, indicando la presencia de azúcares libres y fibra que podrían estar presente en las galletas dado que el contenido de almidón fue cuantificado.

2.5 Evaluación nutricional y nutraceutica

El contenido de fenólicos totales se determinó utilizando el método colorimétrico de Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999), el cual se basa en la reacción de los compuestos fenólicos con el reactivo de Folin-Ciocalteu, que consiste en una mezcla de ácido fosfomolibdico y ácido fosfotúngstico y los resultados se expresaron como µg equivalentes de ácido gálico por g de muestra en base seca (µg EAG/g bs). Para la determinación de la CAoX se prepararon extractos metanólicos siguiendo la metodología descrita por Milán-Noris et al. (2018). Para la medición de la CAoX se utilizó el método de decoloración del catión radical ABTS propuesto por Re et al. (1999), con las modificaciones de Quintero-Soto et al. (2021), y los datos fueron expresados como µmol equivalentes de trolox por 100 g de muestra en base seca (µmol ET/100 g, b. s.). Para la digestibilidad proteínica *in vitro*, se utilizó el método de caída de pH de Hsu et al. (1997) con algunas modificaciones, descrito por Tinus et al. (2012). Donde se utilizan las siguientes enzimas para la digestión: Quimiotripsina (C4129, alfa-quimiotripsina de páncreas bovino tipo II), tripsina (T0303, tripsina de páncreas porcino tipo IX-S) y proteasa (P5147, proteasa de *Streptomyces griseus* Tipo XIV) (Sigma-Aldrich). El porcentaje de digestibilidad de proteína (% DPIV) se calculó usando la ecuación (Ec. 6):

$$\% \text{ DPIV} = 65.66 + 18.10 (\Delta pH_{10min}) \quad \text{Ec. (6)}$$

Todas las evaluaciones, tanto de CFT, CAoX y DPIV se llevaron a cabo por triplicado.

2.6 Análisis estadístico

Se realizó un ANOVA de una sola vía y el análisis estadístico se llevó a cabo utilizando el software JMP 14 utilizando la prueba de Tukey para comparación de medias con un valor de significancia de $p < 0.05$. Se consideraron como variables independientes el tipo de proceso y el porcentaje de suplementación, siendo las variables de dependientes las propiedades fisicoquímicas, la composición proximal, el % DPIV, el CFT y la CAoX.

3. Resultados y discusión

En la Tabla 2 se muestran los valores de a_w y color de las galletas. Los valores de a_w van en un rango entre 0.38 a 0.69 siendo la GAET50 la que presentó el valor más bajo, lo cual se podría explicar debido a que la extrusión al utilizar condiciones de temperatura y presión altas causa la evaporación del agua (Makowska et al., 2014; Shelar y Gaikwad, 2019). Mientras que en las galletas adicionadas con harina de amaranto germinada no se observa un cambio en el contenido de a_w con respecto a la harina de amaranto sin procesar. Resultados similares a lo reportado por Ramos-Pacheco et al. (2024) en quinoa germinada quienes reportaron valores de 0.23 y 0.24 para quinoa cruda y quinoa germinada, respectivamente. El proceso de germinación al mantener hidratada la muestra, mantiene los valores de a_w , contrario al efecto causado por el proceso de extrusión, ya que se utilizan alta temperatura y presión. Valores de a_w debajo de 0.75 se consideran valores aceptables para la prevención del crecimiento de microorganismos (Jan et al., 2017). Sin embargo, de acuerdo con Fontana (2000), valores bajos de a_w podría ocasionar una rápida oxidación de los lípidos presentes, comprometiendo la vida útil de los productos. La a_w de las galletas evaluadas se encuentra por debajo de los límites para bacterias (0.90), levaduras (0.85 – 0.88) y mohos (0.80) perjudiciales (Inglett et al., 2015). La a_w además de indicar riesgos microbiológicos, tiene un papel importante en la textura de los alimentos, asociando a los productos con baja a_w de presentar una textura crujiente (Carter et al., 2015).

Los valores de color se muestran en la Tabla 2. Los valores de a^* y b^* variaron de 1.17 a 5.01 y 11.67 a 14.53, respectivamente. Se observó que al mezclar amaranto crudo, extrudido, germinado y germinado-extrudido, el valor de a^* incrementó y se atribuye a la incorporación de amaranto en la formulación, como lo reportó Shukla et al. (2020), quienes observaron incrementos de a^* con el incremento de la cantidad de amaranto. Mientras que el valor de b^* también incrementó al añadir amaranto crudo, extrudido, germinado y germinado-extrudido a la formulación. Inglet et al. (2015), reportaron un decremento en b^* , atribuido a la formulación de galletas, lo cual es diferente a lo encontrado en este trabajo, lo cual está ligado a los ingredientes para elaborar las galletas. El valor de L^* ($p < 0.05$) varió significativamente con la adición de amaranto, lo cual generó galletas más oscuras. Cambios similares han sido reportados previamente en galletas de amaranto-avena, amaranto-trigo y amaranto-arroz, donde el incremento en harina de amaranto disminuyó la luminosidad de las galletas (Inglet et al., 2015; Chauhan et al., 2016; Shukla et al., 2020).

Tabla 2. Actividad de agua y color de las galletas de trigo y galletas de amaranto procesado**Table 2.** Water activity and color of wheat and processed amaranth cookies

Galletas	a_w	a^*	b^*	Color			
				L^*	H	C	ΔE
GT	0.45±0.013 ^c	-0.21±0.02 ⁱ	13.12±0.12 ^d	46.39±0.26 ^b	90.90±0.08 ^a	13.13±0.12 ^{ef}	0.23±0.14 ^h
GACT50	0.69±0.005 ^a	-0.02±0.03 ^h	14.53±0.08 ^a	50.56±0.37 ^a	90.13±0.13 ^b	14.53±0.08 ^b	4.41±0.37 ^f
GAET50	0.38±0.002 ^f	1.89±0.13 ^e	13.57±0.29 ^{cd}	40.75±0.65 ^d	82.06±0.56 ^e	13.70±0.28 ^{cd}	6.04±0.57 ^e
GAGT50	0.69±0.002 ^a	2.98±0.05 ^d	13.79±0.13 ^{bc}	42.69±0.54 ^c	77.79±0.20 ^f	14.11±0.13 ^{bc}	4.94±0.39 ^f
GAGET50	0.41±0.002 ^e	5.01±0.01 ^a	14.26±0.10 ^{ab}	37.90±0.16 ^e	70.65±0.14 ^h	15.11±0.09 ^a	10.02±0.1 ^c
GAC100	0.69±0.001 ^a	1.17±0.08 ^g	13.74±0.13 ^c	43.82±0.28 ^c	85.15±0.29 ^c	13.79±0.13 ^{cd}	2.98±0.18 ^g
GAE100	0.53±0.001 ^b	1.64±0.04 ^f	13.45±0.58 ^{cd}	38.94±1.41 ^e	83.04±0.25 ^d	13.55±0.58 ^{de}	7.71±1.28 ^d
GAG100	0.69±0.002 ^a	3.29±0.07 ^c	12.61±0.10 ^e	33.95±0.20 ^f	75.38±0.19 ^g	13.03±0.11 ^f	12.92±0.1 ^b
GAGE100	0.42±0.005 ^d	4.25±0.10 ^b	11.67±0.23 ^f	31.31±0.36 ^g	69.97±0.16 ⁱ	12.42±0.25 ^g	15.78±0.3 ^a

GT. Galleta control de trigo. GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p). GAC100. Galleta de amaranto crudo. GAE100. Galleta de amaranto extrudido. GAG100. Galleta de amaranto germinado. GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido. Los valores representan las medias ± la desviación estándar. Medias con letras diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

GT. Control cookies of wheat. GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w). GAC100. Raw amaranth cookie. GAE100. Extruded amaranth cookie. GAG100. Germinated amaranth cookie. GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie.

En la Fig. 1, se pueden observar las distintas galletas elaboradas, así como la apariencia y el color de cada una de ellas. El color de una galleta es el factor principal que afecta su aceptabilidad para consumo en el mercado (Al-Tarifi et al., 2020). La diferencia total de color (ΔE), se calculó tomando como referencia un mosaico blanco y se compararon todas las galletas con respecto a la GT. Los valores de ΔE fueron diferentes entre todas las galletas ($p < 0.05$), siendo las galletas GAG100 y GAGE100 las que presentaron mayores diferencias con respecto a la GT. El aumento de ΔE , marca la diferencia entre la muestra y el control, observándose una muestra más oscura cuando el ΔE es alto, y en este caso, este resultado está ligado con la disminución de L^* (pérdida de luminosidad), lo cual puede ser explicado que durante el proceso de extrusión puede ocurrir caramelización o reacciones de Maillard.

Este tipo de reacciones también se presentan en el proceso de germinación, ya que, al hidrolizarse las proteínas y el almidón, facilita la aparición de reacciones de Maillard, lo cual repercute en la apariencia (Menegassi et al., 2011; Nayak et al., 2011; Chauhan et al., 2016; Sánchez-Osuna et al., 2018). Los valores de C variaron de 12.42 a 15.11 lo que indica la saturación de color, es decir, las galletas presentaron mayor intensidad en color. Mientras que los valores de H variaron de 69.97 a 90.90, los cuales son valores cercanos al amarillo ($H=90$) (McGuire, 1992).

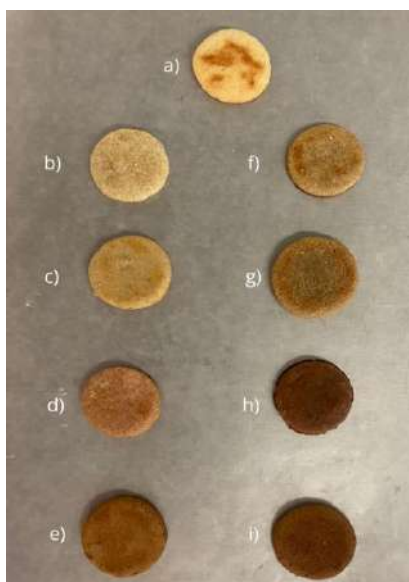


Figura 1. Apariencia de las galletas. GT. Galleta control de trigo (a). GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p) (b). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p) (c). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p) (d). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p) (e). GAC100. Galleta de amaranto crudo (f). GAE100. Galleta de amaranto extrudido (g). GAG100. Galleta de amaranto germinado (h). GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido (i).

Figure 1. Cookies appearance. GT. Control cookies of wheat (a). GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w) (b). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w) (c). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w) (d). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w) (e). GAC100. Raw amaranth cookie (f). GAE100. Extruded amaranth cookie (g). GAG100. Germinated amaranth cookie (h). GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie (i).

3.2 Composición proximal

En la Tabla 3 se muestra la composición proximal de las galletas elaboradas. El proceso de germinación, así como la combinación de germinación-extrusión incrementó el contenido de proteína y esto puede deberse a la actividad enzimática durante este bioproceso, donde se digiere el almidón, liberando proteínas empaquetadas en la estructura de la semilla (Thakur et al., 2021), a la síntesis de proteínas (Uwaegbute et al., 2000; Chaparro-Rojas et al., 2010; Chauhan et al., 2015) o la descomposición de los componentes peptídicos en aminoácidos por proteasas, resultando en un mayor contenido de proteína en los germinados (Narsih et al., 2012). La galleta con menor porcentaje de proteína fue la GT ($p < 0.05$) comparada con el resto de las galletas, observándose un incremento significativo ($p < 0.05$) al incorporar harina de amaranto, debido a que el amaranto posee más proteína que el trigo. Las galletas adicionadas con amaranto germinado o germinado-extrudido presentaron valores más altos ($p < 0.05$) de contenido de proteína, siendo la GAG100 la de mayor contenido de proteína. La combinación de procesos, así como la germinación sola, tuvieron un efecto positivo al incrementar el contenido de proteína de las harinas usadas en las formulaciones de las galletas.

Los resultados de contenido de cenizas de las galletas se observan en la Tabla 3. Este parámetro fue mayor en las galletas suplementadas con amaranto y las elaboradas solo de amaranto, debido a que el amaranto presenta mayor contenido de minerales que el trigo (Rastogi y Shukla, 2013). Las galletas

que contienen harina de amaranto germinado muestran un contenido de cenizas más alto, lo que coincide con lo reportado por Chauhan et al. (2015) quienes observaron que la harina de amaranto germinado mostró un contenido más alto de cenizas en comparación con la de amaranto crudo. Los resultados de las galletas con harina germinada coinciden con lo reportado por Guardianelli et al. (2019), quienes observaron un aumento en el contenido de proteína (de 14.4 a 15.5 %) y cenizas (de 2.71 a 3.11 %) al comparar con galleta control. Estos resultados indican buena presencia de minerales en las galletas elaboradas suplementadas con amaranto procesado (germinado, germinado-extrudido).

Tabla 3. Composición química de las galletas de trigo y de amaranto procesado

Table 3. Chemical composition of wheat and processed amaranth cookies

Galletas	Proteína (%)	Cenizas (%)	Lípidos (%)	Almidón (%)	Otros carbohidratos (%)
GT	7.98 ± 0.26 ^d	0.89 ± 0.01 ^d	27.06 ± 0.69 ^a	51.89 ± 2.64 ^a	14.23 ± 0.80 ^d
GACT50	8.92 ± 0.08 ^b	1.50 ± 0.01 ^{cd}	26.72 ± 0.13 ^{ab}	45.64 ± 0.81 ^c	16.23 ± 0.13 ^{bcd}
GAET50	8.49 ± 0.04 ^c	1.61 ± 0.18 ^{bcd}	26.28 ± 0.03 ^{ab}	50.4 ± 0.53 ^{ab}	15.42 ± 0.05 ^{cd}
GAGT50	9.07 ± 0.03 ^b	1.77 ± 0.06 ^{bc}	26.52 ± 0.09 ^{ab}	46.86 ± 3.34 ^{bc}	16.83 ± 0.01 ^{bc}
GAGET50	9.02 ± 0.19 ^b	1.71 ± 0.09 ^{bc}	27.26 ± 0.02 ^a	48.06 ± 0.93 ^{abc}	16.60 ± 0.76 ^{bcd}
GAC100	9.21 ± 0.23 ^b	2.11 ± 0.49 ^{abc}	26.71 ± 0.59 ^{ab}	45.23 ± 1.32 ^c	15.28 ± 0.91 ^{cd}
GAE100	9.14 ± 0.03 ^b	2.31 ± 0.08 ^{ab}	22.32 ± 0.78 ^c	48.54 ± 1.77 ^{abc}	18.47 ± 1.00 ^b
GAG100	10.09 ± 0.00 ^a	2.54 ± 0.05 ^a	25.42 ± 0.12 ^b	36.65 ± 1.33 ^d	24.90 ± 0.37 ^a
GAGE100	9.82 ± 0.00 ^a	2.50 ± 0.09 ^a	23.15 ± 0.21 ^c	39.65 ± 0.50 ^d	26.25 ± 0.26 ^a

GT. Galleta control de trigo. GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p). GAC100. Galleta de amaranto crudo. GAE100. Galleta de amaranto extrudido. GAG100. Galleta de amaranto germinado. GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido. Los valores representan las medias ± la desviación estándar. Medias con letras diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

GT. Control cookies of wheat. GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w). GAC100. Raw amaranth cookie. GAE100. Extruded amaranth cookie. GAG100. Germinated amaranth cookie. GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie.

Por otro lado, el contenido de lípidos fue menor ($p < 0.05$) en galletas de amaranto extrudido (GAE100) y geminado-extrudido (GAGE100). Esto podría deberse a que, durante el proceso de extrusión, la temperatura y velocidad de tornillo causan una posible degradación de los lípidos, además de que los ácidos grasos pueden formar complejos con la amilosa, dificultando su cuantificación (Tovar-Hernández et al., 2017). El contenido de almidón disminuyó por la adición de amaranto, debido a que el amaranto posee menos almidón que el trigo (Singh y Liu, 2021). A pesar de esto no se encontraron diferencias significativas en el contenido de almidón en galletas con amaranto crudo (GACT50/GAC100).

Las galletas con amaranto germinado y germinado-extrudido mostraron los valores más bajos de almidón al compararse con las otras galletas. Estos resultados podrían explicarse por incrementos en la actividad de la α -amilasa durante la germinación, lo cual provoca una descomposición del gránulo de almidón (Thakur et al., 2021). Además, durante el proceso de extrusión el almidón se gelatiniza y con el trabajo mecánico se produce un aumento en la fragmentación del almidón mejorando su

digestibilidad, al igual que el cizallamiento del proceso puede ocasionar la retrogradación del almidón (Menegassi et al., 2011; Ye et al., 2018; Dupuis et al., 2014). La diferencia en el contenido de otros carbohidratos, es debido a que el análisis proximal (composición química) de las galletas fue diferente y los carbohidratos se calcularon por diferencia como se indicó en la ecuación (Ec. 5).

A pesar de que el amaranto suele tener más fibra que el trigo (Liu y Chen, 2023), solo las galletas suplementadas con amaranto germinado al 50 % (GAGT50) y las de amaranto extrudido (GAE100), germinado (GAG100) y geminado-extrudido (GAGE100) se observó una diferencia significativa. En algunos estudios se ha reportado el aumento de fibra por el proceso de extrusión y germinación (Gámez-Valdez et al., 2021; Thakur et al., 2021).

3.2 Capacidad nutracéutica y nutricional

3.2.1 Compuestos fenólicos totales (CFT)

La adición de amaranto procesado (extrudido, germinado y germinado-extrudido) a la formulación de las galletas incrementó el CFT entre 1.5 y 6.0 veces más al compararla con la galleta control de trigo (GT). Mientras que al compararla con las galletas de amaranto extrudido y amaranto germinado (100 %) incrementó 1.97 y 10.0 veces más el CFT, respectivamente (Fig. 2).

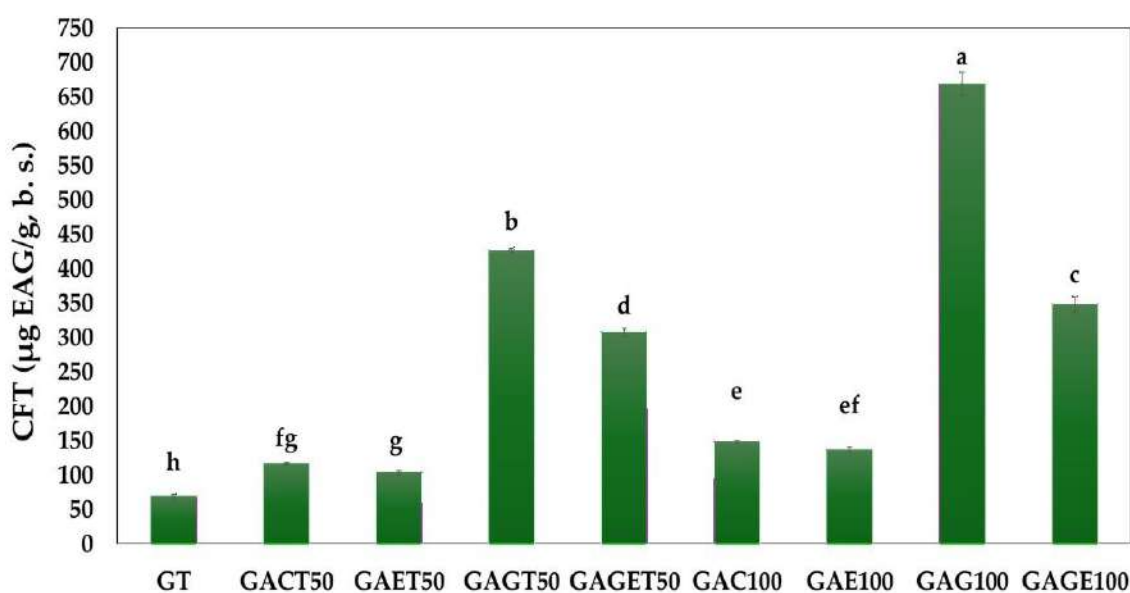


Figura 2. Contenido de compuestos fenólicos totales (μg EAG/g) en las galletas de amaranto procesado. CFT. Compuestos fenólicos totales. GT. Galleta control de trigo. GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p). GAC100. Galleta de amaranto crudo. GAE100. Galleta de amaranto extrudido. GAG100. Galleta de amaranto germinado. GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido.

Figure 2. Total phenolic compound content ($\mu\text{g GAE/g}$) in processed amaranth cookies. CFT. Total phenolic content GT. Control cookies of wheat. GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w). GAC100. Raw amaranth cookie. GAE100. Extruded amaranth cookie. GAG100. Germinated amaranth cookie. GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie.

Por otro lado, las galletas con amaranto germinado (GAGT50 y GAG100) tuvieron los valores más altos de CFT ($p < 0.05$), presentando valores de 426.02 y 699.09 $\mu\text{g EAG/g b. s.}$, respectivamente. Perales-Sánchez et al. (2014) reportaron que el incremento de CFT en amaranto después de la germinación, está asociado a la activación de las enzimas que degradan la pared celular, provocando la liberación de los compuestos fenólicos. Además, se observó que el contenido de CFT disminuye ($p < 0.05$) en las galletas con amaranto germinado-extrudido (GAGET50 y GAGE100) al compararse con su contraparte germinada (GAGT50 y GAG100), lo cual se puede explicar debido a que la temperatura utilizada durante el proceso de extrusión causa degradación de compuestos fenólicos y la liberación de composiciones fenólicas unidas (Xu y Chang, 2008).

3.2.2 Capacidad antioxidante (CAoX)

En la Fig. 3 se observan los resultados de CAoX de las galletas de amaranto procesado. De las galletas suplementadas con amaranto procesado al 50 % (GAET50, GAGT50 y GAGET50), la galleta GAGT50 incrementó 2.64 veces más ($p < 0.05$) en CAoX con respecto a GT. Mientras que al comparar la GT con las galletas de amaranto procesado 100 % (GAE y GAG), la CAoX incrementó 2.0 y 9.0 veces más para GAE y GAG, respectivamente. Similar a lo observado con CFT, la CAoX disminuyó en galletas con amaranto germinado-extrudido (GAGET50, 755.77 $\mu\text{mol ET/100 g, b. s.}$ y GAGE100, 2324.37 $\mu\text{mol ET/100 g, b. s.}$) al compararse con su contraparte germinada (GAGT50, 1332.55 $\mu\text{mol ET/100 g, b. s.}$ y GAG100, 4537.83 $\mu\text{mol ET/100 g, b. s.}$), así como las galletas de amaranto extrudido (GAE100) comparado con galleta de amaranto crudo (GAC100). Esto se le puede atribuir a las reacciones de polimerización de compuestos fenólicos durante el procesamiento de extrusión, lo que los hace menos extraíbles, provocando que presenten una menor contribución a la actividad antioxidante cuantificable (Almirudis-Echeverría et al., 2020). Por su parte, el proceso de germinación (GAG100) incrementó la CAoX y se puede atribuir a los cambios metabólicos que se producen durante la germinación de las semillas, debido principalmente a un aumento en la actividad de la enzima hidrolítica endógena, tales como la enzima degradadora de pared celular y la fenilalanina amonio liasa (Perales-Sánchez et al., 2014; Chauhan et al., 2015). Esto se ve reflejado en la CAoX de las galletas con amaranto germinado como GAGT50, GAGE100 y GAG100, siendo ésta última la que presentó el valor más alto ($p < 0.05$), mostrando un valor de 4537.83 $\mu\text{mol ET/100 g, b. s.}$

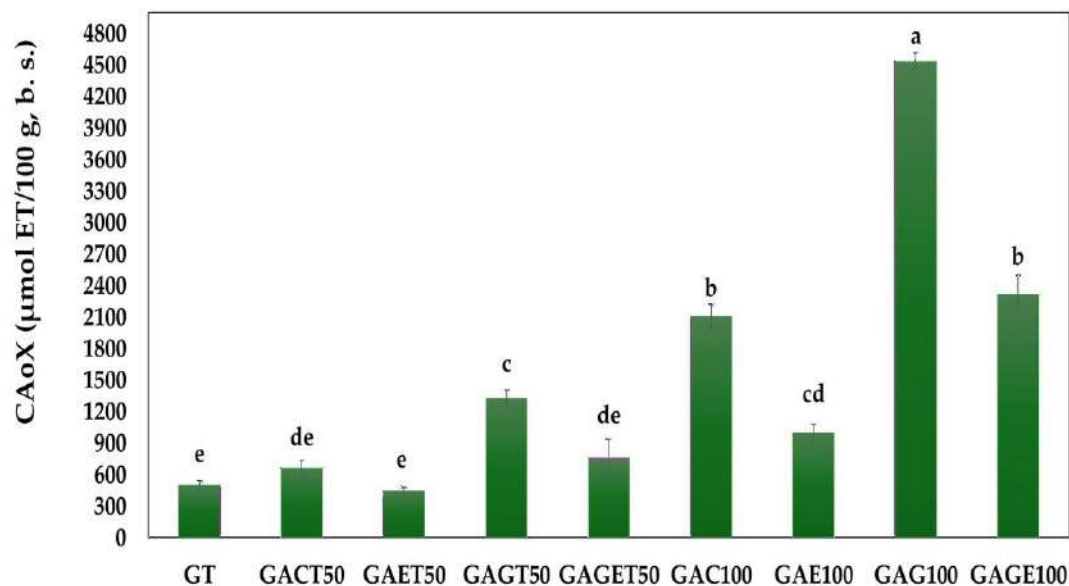


Figura 3. Capacidad antioxidante de las galletas de amaranto procesado. ABTS. Ensayo basado en cationes radicales 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfónico). GT. Galleta control de trigo. GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p). GAC100. Galleta de amaranto crudo. GAE100. Galleta de amaranto extrudido. GAG100. Galleta de amaranto germinado. GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido.

Figure 3. Antioxidant capacity of processed amaranth cookies. ABTS. Assay based on radicals' cations 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonic) GT. Control cookies of wheat. GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w). GAC100. Raw amaranth cookie. GAE100. Extruded amaranth cookie. GAG100. Germinated amaranth cookie. GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie.

3.2.3 Digestibilidad proteínica *in vitro*

Los resultados de la digestibilidad proteínica *in vitro* (% DPIV) se muestran en la Tabla 4. La galleta GAET50 presentó el valor de % DPIV más alto, esto podría deberse a la complementariedad de los aminoácidos entre ambos granos (Poutanen et al., 2022) y a que durante el proceso de extrusión se pueden inactivar compuestos antinutricionales (ácido fítico, inhibidores de α -amilasa, taninos, saponinas) presentes en el amaranto crudo, lo que permite una mayor biodisponibilidad de las proteínas, así como para los minerales como el hierro, zinc y calcio, que se ven afectados por antinutrientes, sumado a la desnaturalización parcial de las proteínas por consecuencia del proceso (Olawoye y Gbadamosi, 2017; Almirudis-Echeverria et al., 2020).

Las galletas con amaranto germinado (GAGT50/GAG100) y germinado-extrudido (GAGE100) presentaron los valores más bajos de % DPIV con respecto a las galletas control (GT o GAC100). El proceso de germinación libera compuestos fenólicos los cuales podrían estar interfiriendo con la acción de las proteasas y disminuyendo la digestibilidad proteínica (Cirkovic-Velickoc y Stanic-Vucinic, 2018).

Tabla 4. Digestibilidad proteínica *in vitro* (% DPIV) de las galletas de amaranto procesado

Table 4. *In vitro* protein digestibility (% IVPD) of processed amaranth cookies

Galletas	DPIV (%)
GT	80.59 ± 0.38 ^{bc}
GACT50	79.24 ± 0.26 ^{bcd}
GAET50	83.76 ± 0.00 ^a
GAGT50	74.98 ± 0.13 ^f
GAGET50	78.51 ± 0.77 ^{cde}
GAC100	81.41 ± 0.77 ^{ab}
GAE100	81.05 ± 0.26 ^{bc}
GAG100	76.16 ± 1.54 ^{ef}
GAGE100	77.33 ± 0.13 ^{def}

GT. Galleta control de trigo. GACT50. Galleta de trigo con amaranto crudo (50:50 p/p). GAET50. Galleta de trigo con amaranto extrudido (50:50 p/p). GAGT50. Galleta de trigo con amaranto germinado (50:50 p/p). GAGET50. Galleta de trigo con amaranto germinado extrudido (50:50 p/p). GAC100. Galleta de amaranto crudo. GAE100. Galleta de amaranto extrudido. GAG100. Galleta de amaranto germinado. GAGE100. Galleta de amaranto germinado extrudido. Los valores representan las medias ± la desviación estándar. Medias con letras diferentes por columna indican diferencia significativa ($p < 0.05$).

GT. Control cookies of wheat. GACT50. Wheat cookie added with raw amaranth (50:50 w/w). GAET50. Wheat cookie added with extruded amaranth (50:50 w/w). GAGT50. Wheat cookie added with germinated amaranth (50:50 w/w). GAGET50. Wheat cookie added with germinated-extruded amaranth (50:50 w/w). GAC100. Raw amaranth cookie. GAE100. Extruded amaranth cookie. GAG100. Germinated amaranth cookie. GAGE100. Germinated-extruded amaranth cookie.

4. Conclusiones

La suplementación de galletas de trigo con harina de amaranto germinado y harina de amaranto germinado-extrudido incrementó su contenido de proteínas, compuestos fenólicos y capacidad antioxidante. Se observaron los valores más altos para estos atributos en galletas elaboradas con amaranto germinado o germinado-extrudido. La digestibilidad proteínica fue mayor en galletas preparadas con amaranto extrudido y trigo al 50 % (GAET50), debido al proceso de extrusión y a la complementariedad de los granos en cuanto al contenido de aminoácidos. Por lo tanto, el amaranto procesado, ya sea extrudido, germinado o germinado-extrudido, es una interesante alternativa tecnológica y nutricional para desarrollar productos de panificación con potencial nutraceutico. Asimismo, su potencial aplicación para alimentos libres de gluten lo hace una alternativa para el desarrollo de alimentos para este nicho especializado de la industria alimentaria.

Contribuciones de los autores

Conceptualización: A.K.M.N.; metodología: E.M.M.N.; investigación: A.M.R., P.G.A.T., A.K.M.N., E.M.M.N.; recursos: J.M.C.; redacción del borrador original: E.M.M.N., P.G.A.T., A.M.R., A.K.M.N.; redacción-revisión y edición: E.M.M.N., A.M.R., J.M.C., A.K.M.N.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no tienen conflicto de interés con la publicación de los resultados de la revisión.

5. Referencias

- Alegbejo, J. (2014). Nutritional Value and Utilization of Amaranthus (Amaranthus spp.) – A Review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 6(1), 136-143. <https://doi.org/10.4314/bajopas.v6i1.27>
- Almirudis-Echeverria, S. J., Ramírez-Wong, B., Medina-Rodríguez, C. L., Magaña-Barajas, E., Torres-Chávez, P. I., & Ledesma-Osuna, A. I. (2020). Actividad antioxidante de harinas de amaranto obtenidas por extrusión y análisis parcial de su calidad proteica in vivo. *Biotecnia*, 22(1), 24-31. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v22i1.1121>
- Al-Tarifi, B. Y., Mahmood, A., Assaw, S., & Sheikh, H. I. (2020). Application of astaxanthin and its lipid stability in bakery product. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 8(3), 962-974. <https://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.8.3.24>
- Alvídrez-Morales, A., González-Martínez, B. E., & Jiménez-Salas Z. (2002). Tendencias en la producción de alimentos: alimentos funcionales. *Revista salud pública y Nutrición*, 3(3). <https://respyn.uanl.mx/index.php/respyn/article/view/91>
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists. (1999). Official methods of analysis. 16th Edition, 5th Revision, Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC.
- Aragón-Gutiérrez, C., Ramírez-Valverde, B., Montero-Simó, M. J., Araque-Padilla, R. Á., & Pérez-Barea, J. J. (2018). Valoración por el consumidor de las características hedónicas, nutritivas y saludables del amaranto. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 6(16), 1-14. <https://doi.org/10.22201/enesl.20078064e.2018.16.62956>
- Bressani, R. (1994). Composition and nutritional properties of amaranth. In: Paredes-Lopez, O. (Ed.) *Amaranth – Biology, Chemistry, and Technology* (pp. 185–206). London: CRC Press.
- Carter, B. P., Galloway, M. T., Campbell, G. S., & Carter, A. H. (2015). The critical water activity from dynamic dewpoint isotherms as an indicator of crispness in low moisture cookies. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 9(3), 463–470. <https://doi.org/10.1007/s11694-015-9254-3>
- Cavieres, E., Piñeira, M. B., & Negrete, C. (2016). Impacto de la incorporación de harina de amaranto en las propiedades físicas y sensoriales en galletas. *Contribuciones científicas y tecnológicas*, 41, 41-47. <https://revistaschilenas.uchile.cl/handle/2250/133274>
- Chaparro-Rojas, D. C., Pismag-Portilla, R. Y., Elizalde-Correa, A., Vivas-Quila, N. J., & Erazo-Cacedo C. A. (2010). Efecto de la germinación sobre el contenido y digestibilidad de proteína en semillas de amaranto, quinua, soya y guandul. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, 9(1), 51-59. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=380878962008>

- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh S. (2015). Total dietary fibre and antioxidant activity of gluten free cookies made from raw and germinated amaranth (*Amaranthus* spp.) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 63(2), 939–945. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.115>
- Chauhan, A., Saxena, D. C., & Singh, S. (2016). Physical, textural, and sensory characteristics of wheat and amaranth flour blend cookies. *Cogent Food & Agriculture*, 2(1). <https://doi.org/10.1080/23311932.2015.1125773>
- Cirkovic Velickovic, T. D., & Stanic-Vucinic, D. J. (2018). The Role of Dietary Phenolic Compounds in Protein Digestion and Processing Technologies to Improve Their Antinutritive Properties. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(1), 82-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/1541-4337.12320>
- Cornejo, F., Novillo, G., Villacrés, E., & Rosell, C. M. (2019). Evaluation of the physicochemical and nutritional changes in two amaranth species (*Amaranthus quitensis* and *Amaranthus caudatus*) after germination. *Food Research International*, 121, 933-939. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.01.022>
- De la Barca, A. M. C., Rojas-Martínez, M. E., Islas-Rubio, A. R., & Cabrera-Chávez, F. (2010). Gluten-Free Breads and Cookies of Raw and Popped Amaranth Flours with Attractive Technological and Nutritional Qualities. *Plant Foods for Human Nutrition*, 65(3), 241–246. <https://doi.org/10.1007/s11130-010-0187-z>
- Desalegn, B. B. (2015). Effect of soaking and germination on proximate composition, mineral bioavailability and functional properties of chickpea flour. *Food and Public Health*, 5 (4), 108-113. <http://article.sapub.org/10.5923.j.fph.20150504.02.html>
- Díaz, S. O. & Hernández, G. M. S. (2012). Elaboración de galletas como alternativa para la soberanía alimentaria en la región amazónica colombiana. *Vitae*, 19(1), s273-s275. chrome-extension://efaidnbnmnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/1698/Resumenes/Resumen_169823914083_1.pdf
- Dupuis, J. H., Liu, Q., & Yada, R. Y. (2014). Methodologies for Increasing the Resistant Starch Content of Food Starches: A Review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(6), 1219–1234. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12104>
- Emire, S. A., & Arega, M. (2012). Value added product development and quality characterization of amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) grown in East Africa. *African Journal of Food Science and Technology*, 3(6), 129-141. <https://www.interestjournals.org/archive/ajfst-volume-3-issue-6-year-2012.html>
- Fontana, A. J. (2000). Understanding the importance of water activity in food. *Cereal Foods World*. 45(1), 7–10. <https://scispace.com/papers/understanding-the-importance-of-water-activity-in-food-1pksznw46y>
- Gómez-Valdez, L., Gutiérrez-Dorado, R., Gómez-Aldapa, C. A., Perales-Sánchez, J. X. K., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Mora-Rochín, S., & Reyes-Moreno, C. (2021). Effect of the extruded amaranth flour addition on the nutritional, nutraceutical and sensory quality of tortillas produced from extruded creole blue maize flour. *Biotechnia*, 23(2), 103-112. <https://doi.org/10.18633/biotechnia.v23i2.1385>
- Guardianelli, L. M., Salinas, M. V., & Puppo M. C. (2019). Chemical and thermal properties of flours from germinated amaranth seeds. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 13, 1078–1088. <https://doi.org/10.1007/s11694-018-00023-1>
- Hall, P. A. (2016). Executive-Control Processes in High-Calorie Food Consumption. *Current Directions in Psychological Science*, 25(2), 9198. <https://doi.org/10.1177/0963721415625049>

- Hsu, H. W., Vavak, D. L., Satterlee, L. D., & Miller, G. A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42(5), 1269–1273. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb14476.x>
- Inglett, G. E., Chen, D., & Liu S. X. (2015). Physical properties of gluten-free sugar cookies made from amaranth–oat composites. *LWT - Food Science and Technology*, 63(1), 214–220. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.03.056>
- Jan, R., Saxena, D. C., & Singh S. (2017). Effect of storage conditions and packaging materials on the quality attributes of gluten-free extrudates and cookies made from germinated chenopodium (*Chenopodium album*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 11(3), 1071–1080. <https://doi.org/10.1007/s11694-017-9484-7>
- Liu, S. X., & Chen, D. (2023). Novel gluten-free amaranth and oat flour cookies fortified with soybean hulls. *Food and Nutrition Sciences*, 14(8), 699–719. <https://doi.org/10.4236/fns.2023.148046>
- Luis, G. M., Hernández, B. R. H., Caballero, V. P., López, N. G. T., Espinoza, V., & Pacheco L. R. (2018). Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.). *Journal of Negative and No Positive Results: JONNPR*, 3(6), 423–436. <https://doi.org/10.19230/jonnpr.2410>
- Madrigales-Reátiga, L. F., Castro-Montoya, Y. A., Reyes-Moreno, C., Gutiérrez-Dorado, R., Salas-López, F., & Peráles-Sánchez, J. X. K. (2024). Chia seed germination and extrusion to increase nutritional value, phenolic compounds, gaba, antioxidant activity, and in vitro antihypertensive potential. *Agrociencia*, 58(4): 1-15. <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v58i4.3043>
- Makowska, A., Cais-Sokolińska, D., & Lasik, A. (2014). Effect of Technological Factors on Water Activity of Extruded Corn Product with an Addition of Whey Proteins. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 13(3), 243–247. <https://doi.org/10.17306/J.AFS.2014.3.2>
- McGuire, R. G. (1992). Reporting of Objective Color Measurements. *HortScience*, 27(12): p. 1254–1255. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.27.12.1254>
- Man, S., Păfucean, A., Muste, S., ChiÈ, M.S., Pop A., & Căflian, I. D. (2017). Assessment of amaranth flour utilization in cookies production and quality. *Journal of Agroalimentary Processes and Technologies*, 23(2), 97–103. <https://journal-of-agroalimentary.ro/journal-of-agroalimentary-processes-and-technologies-2017-23-2/assessment-of-amaranth-flour-utilization-in-cookies-production-and-quality>
- Martínez, N. S., Ruíz, O. C., Castillejos, G. R., Perales-Torres, A., & Pérez, A. L. G. (2017). Análisis proximal, de textura y aceptación de las galletas de trigo, sorgo y frijol. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(3), 227–234. <https://www.alanrevista.org/ediciones/2017/3/art-8>
- Menegassi, B., Pilosof, A. M. R., & Arêas, J. A. G. (2011). Comparison of properties of native and extruded amaranth (*Amaranthus cruentus* L. – BRS Alegria) flour. *LWT - Food Science and Technology*, 44(9), 1915–1921. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.04.008>
- Miguel, M.G. (2018). Betalains in Some Species of the Amaranthaceae Family: A Review. *Antioxidants*, 7(4), 53. <https://doi.org/10.3390/antiox7040053>
- Milán-Noris, A. K., Gutiérrez-Urbe, J. A., Santacruz, A., Serna-Saldívar S. O., & Martínez-Villaluenga, C. (2018). Peptides and isoflavones in gastrointestinal digests contribute to the anti-inflammatory potential of cooked or germinated desi and kabuli chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Chemistry*, 268, 66–76. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.068>
- Mlakar, G. S., Turinek, M., Jakop, M., Bavec, M., & Bavec, F. (2009). Nutrition value and use of grain amaranth potential future application in bread making. *Agricultural and Food Sciences*, 6, 43–53. <https://www.semanticscholar.org/paper/Nutrition-value-and-use-of-grain-amaranth%3A-future-Mlakar-Turinek/b28f73042370dd0de5a1cf4919a8a5fd55e79504>
- Montoya-Rodríguez, A. (2011). Nuevos Productos Alimenticios a Partir de Amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*) Integral. Efecto del Proceso Extrusión / Cocción Sobre la Capacidad

- Antioxidante y Niveles de Fitoquímicos (*Tesis de Maestría*, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas. Universidad Autónoma de Sinaloa. Culiacán, Sinaloa, México).
- Montoya-Rodríguez, A., Milán-Carrillo, J., Dia, V. P., Reyes-Moreno, C., & González de Mejía, E. (2014). Pepsin-pancreatin protein hydrolysates from extruded amaranth inhibit markers of atherosclerosis in LPS-induced THP-1 macrophages-like human cells by reducing expression of proteins in LOX1 signaling pathway. *Proteome Science*, 12(1), 30. <https://doi.org/10.1186/1477-5956-12-30>
- Montoya-Rodríguez, A., Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J. & González de Mejía, E. (2015). Identification of Bioactive Peptide Sequences from Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) Seed Proteins and Their Potential Role in the Prevention of Chronic Diseases. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(2): 139-158. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12125>
- Mubarak, A. E. (2005). Nutritional composition and antinutritional factors of mung bean seeds (*Phaseolus aureus*) as affected by some home traditional processes. *Food Chemistry*, 89(4), 489–495. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2004.01.007>
- Mudgil, D., Barak, S., & Khatkar, B. S. (2017). Cookie texture, spread ratio and sensory acceptability of cookies as a function of soluble dietary fiber, baking time and different water levels. *LWT-Food Science and Technology*, 80, 537–542. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.009>
- Narsih, N., Yunianta, Y., & Harijono, H. (2012). The study of germination and soaking time to improve nutritional quality of sorghum seed. *International Food Research Journal*, 19 (4), 1429-1432. <https://scispace.com/papers/the-study-of-germination-and-soaking-time-to-improve-3gm2k78b4c>
- Nayak, B., Berrios, J. D. J., Powers, J. R., & Tang, J. (2011). Effect of Extrusion on the Antioxidant Capacity and Color Attributes of Expanded Extrudates Prepared from Purple Potato and Yellow Pea Flour Mixes. *Journal of Food Science*, 76(6), C874-C883. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02279.x>
- Olawoye, B. T., & Gbadamosi, S. O. (2017). Effect of different treatments on in vitro protein digestibility, antinutrients, antioxidant properties and mineral composition of *Amaranthus viridis* seed. *Cogent Food & Agriculture*, 3(1): 1296402. <https://doi.org/10.1080/23311932.2017.1296402>
- Patrignani, M., & Lupano, C. E. (2016). Incorporación de saborizantes naturales a galletitas: efecto sobre el poder antioxidante del producto final. En: Análisis físico-químicos y sensoriales de los alimentos: trabajos completos. Pp. 345-354. *VI Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos 2016*. <http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/90752>
- Perales-Sánchez, J. X. K., 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. <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0430-0>
- Poutanen, K. S., Kårlund, A. O., Gómez-Gallego, C., Johansson, D. P., Scheers, N. M., Marklinder, I. M., Eriksen, A. K., Silventoinen, P. C., Nordlund, E., Sozer, N., Hanhineva, K. J., Kolehmainen, M., & Landberg, R. (2022). Grains - a major source of sustainable protein for health. *Nutrition Reviews*. 80(6), 1648-1663. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuab084>
- Quintero-Soto, M. F., Chávez-Ontiveros, J., Garzón-Tiznado, J. A., Salazar-Salas, N. Y., Pineda-Hidalgo, K. V., Delgado-Vargas, F., & López-Valenzuela, J. A. (2021). Characterization of peptides with antioxidant activity and antidiabetic potential obtained from chickpea (*Cicer arietinum* L.) protein hydrolyzates. *Journal of Food Science*, 86(7), 2962-2977. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15778>

- Ramos-Pacheco, B. S., Choque-Quispe, D., Ligarda-Samanez, C. A., Solano-Reynoso, A. M., Palomino-Rincón, H., Choque-Quispe, Y., Peralta-Guevara, D. E., Moscoso-Moscoso, E., & Aiquipa-Pillaca, Á. S. (2024). Effect of Germination on the Physicochemical Properties, Functional Groups, Content of Bioactive Compounds, and Antioxidant Capacity of Different Varieties of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Grown in the High Andean Zone of Peru. *Foods*, 13(3), 417. <https://doi.org/10.3390/foods13030417>
- Rastogi, A., & Shukla, S. (2013). Amaranth: A New Millennium Crop of Nutraceutical Values. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 109–125. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.517876>
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9-10), 1231-1237. [https://doi.org/10.1016/S0891-5849\(98\)00315-3](https://doi.org/10.1016/S0891-5849(98)00315-3)
- Sánchez-Osuna, M. F., Gutiérrez-Dorado, R., Cuevas-Rodríguez, E. O., Milán-Carrillo, J., Perales-Sánchez, J., & Reyes-Moreno, C. (2018). Propiedades Fisicoquímicas y Nutracéuticas de Granos Integrales (Amaranto/Chía) Procesados en Condiciones Óptimas de Germinación. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 3, 639-644.
- Sandoval-Sicairos, E. S., Domínguez-Rodríguez M., Montoya-Rodríguez A., Milán-Noris A. K., Reyes-Moreno C., & Milán-Carrillo J. (2020). Phytochemical Compounds and Antioxidant Activity Modified by Germination and Hydrolysis in Mexican Amaranth. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75: 192-199. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00798-z>
- Segura-Nieto, M., Barba de la Rosa, A. P., & Paredes-López, O. (1994). Biochemistry of Amaranth Proteins. In: Paredes-López, O. (Ed.), *Amaranth: Biology, Chemistry and Technology*, (pp. 75-106). Boca Raton: CRC Press.
- Shelar, G. A., & Gaikwad, S. T. (2019). Extrusion in food processing: An overview. *The Pharma Innovation Journal*, 8(2), 562-568. <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2019&vol=8&issue=2&ArticleId=3076>
- Sindhuja, A., Sudha, M. L., & Rahim, A. (2005). Effect of incorporation of amaranth flour on the quality of cookies. *European Food Research and Technology*, 221(5), 597–601. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0039-5>
- Singleton, V. L., Orthofer, R., & Lamuela-Raventós, R. M. (1999). [14] Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299: 152–178. [https://doi.org/10.1016/s0076-6879\(99\)99017-1](https://doi.org/10.1016/s0076-6879(99)99017-1)
- Suarez, P. A., Martínez, J. G., & Hernández, J. R. (2016). El amaranto y sus efectos terapéuticos. *Tlatemoani: revista académica de investigación*, 7(21), 55-73. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7298394>
- Shukla, U., Sehar, M., Tongbram, T., Yaseen, M., & Bora, J. (2020). Physical and sensory characteristics of cookies from rice and amaranth flour blends. *European Food Science and Engineering*, 1(1), 24-29. <https://izlik.org/JA64ZH74KW>
- Singh, M., & Liu, S. X. (2021). Evaluation of amaranth flour processing for noodle making. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4): e15270. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15270>
- Thakur, P., Kumar, K., Ahmed, N., Chauhan, D., Rizvi, Q. U. E. H., Jan, S., Singh, P. T., & Dhaliwal, H. S. (2021). Effect of soaking and germination treatments on nutritional, anti-nutritional, and bioactive properties of amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.), quinoa (*Chenopodium quinoa* L.), and buckwheat (*Fagopyrum esculentum* L.). *Current Research in Food Science*, 4, 917-925. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2021.11.019>
- Tovar-Hernández, C. E., Perafán-Gil, E. A., Enríquez-Collazos, M. G., Pismag-Portilla, Y., & Ceron-Fernandez, L. (2017). Evaluación del efecto del proceso de extrusión en harina de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) normal y germinada. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y*

- Agroindustrial*, 15(2), 30-38.
<https://revistas.unicauca.edu.co/index.php/biotecnologia/article/view/560>
- Uwaegbute, A. C., Iroegbu, C. U., & Eke, O. (2000). Chemical and sensory evaluation of germinated cowpeas (*Vigna unguiculata*) and their products. *Food Chemistry*, 68(2), 141–146. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(99\)00134-X](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(99)00134-X)
- Xu, B., & Chang, S. K. C. (2008). Total Phenolics, Phenolic Acids, Isoflavones, and Anthocyanins and Antioxidant Properties of Yellow and Black Soybeans As Affected by Thermal Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56(16), 7165–7175. <https://doi.org/10.1021/jf8012234>
- Ye, J., Hu, X., Luo, S., Liu, W., Chen, J., Zeng, Z., & Liu, C. (2018). Properties of starch after extrusion: A review. *Starch-Stärke*, 70(11-12), 1700110. <https://doi.org/10.1002/star.201700110>

2026 TECNOCENCIA CHIHUAHUA.

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



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