

Alimento funcional para adultos mayores producido por extrusión a partir de granos integrales de maíz/frijol común

Functional food for older adults produced by extrusion from whole grains of maize/common bean

Ramona Julieta Moreno-Espinoza^{1,2}, Cuauhtémoc Reyes-Moreno^{2,3}, Roberto Gutiérrez-Dorado^{2,3}, Jorge Milán-Carrillo^{2,3}, Edith O. Cuevas-Rodríguez^{2,3}, Saraid Mora-Rochín^{2,3}, Mario Armando Gómez-Favela^{1,2}, Janitzio Xiomara Korina Perales-Sánchez^{2,3*}

¹Ingeniería Agroindustrial, Universidad Politécnica del Mar y la Sierra (UPMyS), Carretera a Potrerillos del Norote Km 3, CP 82700, La Cruz, Elota, Sinaloa, México

²Programa de Posgrado Integral en Biotecnología (PPIB), Facultad de Ciencias Químico-Biológicas (FCQB), Universidad Autónoma de Sinaloa (UAS), Culiacán, Sinaloa, México

³Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos, Facultad de Ciencias Químico-Biológicas, Universidad Autónoma de Sinaloa, Juan M Banderas #2505 Fracc Chulavista CP 80194 Culiacán, Sinaloa. Tel/Fax: +52 (667) 7157641. E-mail: xiomara_perales@hotmail.com

*Autor de correspondencia

Resumen

El objetivo del trabajo fue desarrollar un alimento funcional para adultos mayores (AFAM) con valores altos de aceptabilidad sensorial, propiedades nutricionales, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, usando una mezcla 60%:40% de harinas de maíz y frijol común integrales obtenidas por extrusión con condiciones optimizadas. Las condiciones de extrusión usadas fueron temperatura de extrusión (TE = 95 °C-195 °C) y velocidad del tornillo (VT = 80 rpm-240 rpm). Una superficie de respuesta de la función matemática de deseabilidad global se usó para maximizar la actividad antioxidante y aceptabilidad. Las mejores combinaciones de variables de proceso fueron harina de maíz integral extrudido: TE = 97 °C/VT = 236 rpm, y harina de frijol común integral extrudido: TE = 152 °C/VT = 240 rpm. La mezcla optimizada tuvo actividad antioxidante = 12 384 µmol de ET/100 g y relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER) = 2.24. Una porción de AFAM (150 g) contiene 6.85 g de proteínas, 9.91 g de fibra dietaria total y cubre 100% de la ingesta diaria recomendada de antioxidantes calificada con una aceptabilidad de 85. El AFAM optimizado podría utilizarse para promover salud y prevenir enfermedades.

Palabras clave: *Zea mays*; *Phaseolus vulgaris*; actividad antioxidante; extrusión; optimización

Abstract

The aim of the present work was to develop a functional food for older adults (FFOA) with high values of sensory acceptability, nutritional properties, content of phenolic compounds, and antioxidant activity, using a 60%:40% blend of whole maize and common bean flours obtained by extrusion with optimized conditions. Extrusion temperature (ET = 95 °C-195 °C) and screw speed (SS = 80 rpm-240 rpm) were used as extruder's conditions. A response surface of the global desirability mathematical function was used to maximize antioxidant activity and acceptability. The best combinations of process variables were extruded whole maize flour: ET = 97 °C/SS = 236 rpm, and extruded whole common bean flour: ET = 152 °C/SS = 240 rpm. The optimized mixture had antioxidant activity = 12 384 µmol TE/100 g and calculated protein efficiency ratio (C-PER) = 2.24. An FFOA portion (150 g) contains 6.85 g of proteins, 9.91 g total dietary fiber, and it covers 100% of the recommended daily intake of antioxidants, rated with an acceptability of 85. Optimized FFOA could be used to promote health and prevent disease.

Keywords: *Zea mays*; *Phaseolus vulgaris*; antioxidant activity; extrusion; optimization.

Recibido: 04 de mayo de 2021

Aceptado: 06 de septiembre de 2021

Publicado: 10 de noviembre de 2021

Cómo citar: Moreno-Espinoza, R. J., Reyes-Moreno, C., Gutiérrez-Dorado, R., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Mora-Rochín, S., Gómez-Favela, M. A., & Perales-Sánchez, J. X. K. (2021). Functional food for older adults produced by extrusion from whole grains of maize/common bean. *Acta Universitaria* 31, e3217. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2021.3217>

Introducción

En México, en el 2018 la población de adultos mayores (AM) (60 años y más) fue 15.4 millones y se prevé que esta cantidad se duplicará para 2030 (Instituto Nacional de Estadística y Geografía [INEGI], 2019). El rápido aumento de los AM ha incrementado la estadística de enfermedades crónico-degenerativas (ECD) (hipertensión, diabetes, enfermedades cardiovasculares, cáncer, etc.). Por otro lado, los cambios en la composición corporal relacionados con la edad, incluyendo la redistribución e incremento de la grasa corporal y la disminución de masa muscular y ósea, conducen a trastornos metabólicos, alteraciones de la inmunidad, fragilidad, osteoporosis y sarcopenia. Otros cambios fisiológicos importantes en los AM incluyen problemas para comer y tragar, dificultad para masticar, boca seca, pérdida del gusto y pérdida del apetito; es decir, la capacidad de procesamiento oral disminuye (Lutz *et al.*, 2019).

Muchos de los cambios fisiológicos en AM que ocasionan el desarrollo de ECD están directamente relacionados con el estrés oxidativo, el cual se debe a un desequilibrio entre radicales libres y la defensa antioxidante (Aruoma, 1994; Zorrilla, 2002). Los radicales libres constituyen potentes agentes oxidantes altamente reactivos que se encuentran en equilibrio con los sistemas antioxidantes. Con el envejecimiento, los niveles tisulares de antioxidantes se ven disminuidos, ocasionando que los radicales libres reaccionen con aquellas moléculas de importancia biológica (glúcidos, lípidos, proteínas, ADN y ARN) para el organismo; generando numerosas enfermedades como el cáncer, Parkinson, Alzheimer, enfermedad de Lou Gering, cataratas, diabetes mellitus, aterosclerosis, entre otras. Por tanto, se necesita de una mayor ingestión de compuestos antioxidantes en la dieta durante esta etapa de la vida (Zorrilla, 2002). Debido a esto, actualmente se requiere de la formulación de alimentos funcionales ricos en antioxidantes que puedan contribuir a la reducción de los padecimientos de salud que presentan los AM.

Los cereales y las leguminosas integrales son una fuente importante de antioxidantes. Es por ello que el consumo de cereales integrales se ha asociado a un menor riesgo de padecer enfermedades cardiovasculares (ECV): accidente cerebrovascular, cáncer y diabetes tipo 2 (DT2). También reduce los niveles séricos de lipoproteínas de baja densidad (LDL) y triglicéridos (Aune *et al.*, 2016; Hollænder *et al.*, 2015). El consumo de leguminosas se relaciona con un menor riesgo de ECV (Grosso *et al.*, 2017) y con algunos factores relacionados como obesidad (Kim *et al.*, 2016), hipertensión arterial y DT2 (Becerra-Tomás *et al.*, 2018). Las leguminosas son un complemento ideal de los cereales en una dieta saludable.

El maíz (*Zea mays* L.) se originó en México hace más de 6000 años, cuyo grano es clave para la economía y seguridad alimentaria mundial (González-Ortega *et al.*, 2017). El pericarpio del grano de maíz contiene fibra y minerales mientras que la capa de aleurona contiene niveles altos de minerales y antioxidantes. El endospermo es rico en almidón, proteínas, vitaminas y antioxidantes, y el germen es rico en lípidos, minerales y algunas vitaminas, incluida la vitamina E (Serna-Saldívar & Pérez, 2019). Entre los principales compuestos del grano se encuentran también las fibras dietarias (FD) (Serna-Saldívar & Pérez, 2019). Además, el maíz contiene fitoquímicos que mejoran la salud y previenen enfermedades, como los ácidos fenólicos, carotenoides (maíz amarillo y naranja), antocianinas (maíz azul, púrpura y negro) y flobafenos (maíz rojo) (Prasanna *et al.*, 2019).

México es considerado el sitio de origen y domesticación del frijol (Chávez-Mendoza & Sánchez, 2017). El frijol común representa una buena fuente de proteínas, aminoácidos, fibra dietaria, vitaminas y polifenoles (ácidos fenólicos y flavonoides) (Carbas *et al.*, 2020). Las recomendaciones de ingesta diaria para adultos (+19 años) de cada uno de los componentes mencionados anteriormente son de 1.0 g-1.2 g de proteína/kg de peso (46 g-56 g de proteína/día) (Bauer *et al.*, 2013; Cardon-Thomas *et al.*, 2017; Institute of Medicine, 2005), 14 mg de histidina, 19 mg de isoleucina, 42 mg de leucina, 38 mg de lisina, 19 mg de metionina+cisteína, 33 mg de fenilalanina+tirosina, 20 mg de treonina, 5 mg de triptófano y 24 mg de

valina/kg de peso corporal/día (Institute of Medicine, 2005), 21 g-38 g de fibra dietaria/día (Institute of Medicine, 2005), 700 µg-900 µg de vitamina A, 75 mg-90 mg de vitamina C, 5 µg-15 µg de vitamina D, 15 mg de vitamina E, 90 µg-120 µg de vitamina K, 1.1 mg-1.2 mg de Tiamina, 1.1 mg-1.3 mg de Riboflavina, 14 mg-16 mg de Niacina, 1.3 mg-1.7 mg de vitamina B6, 400 µg de Folato, 2.4 µg de vitamina B12, 5 mg de ácido Pantoténico, 30 µg de Biotina y 425 mg-550 mg de Colina/día (Institute of Medicine, 2005), 358 mg-1786 mg de polifenoles/día (Castro, 2019; Navarro *et al.*, 2017), 522.2 mg de ácidos fenólicos/día (Godos *et al.*, 2019) y 186.9 mg-192.7 mg de flavonoides/día (Chun *et al.*, 2007). Las proteínas tienen buena digestibilidad; no contienen gluten, además de que promueven la reducción del colesterol LDL y la regulación de la diabetes (Carbas *et al.*, 2020). Los compuestos fenólicos promueven varios efectos beneficiosos, como la reducción de la incidencia de cáncer, actividad antioxidante y potencial antiinflamatorio (Chen *et al.*, 2017).

La extrusión-cocción utiliza combinación de temperatura y presión alta y esfuerzo de corte alto, durante un periodo corto. Eso resulta en transformaciones moleculares y reacciones químicas dentro de los productos extrudidos. Esta tecnología mejora la digestibilidad de proteínas y del almidón; también incrementa la retención de compuestos bioactivos y fibra dietaria soluble. Además, inactiva enzimas y microorganismos. Es una tecnología alternativa que minimiza el consumo de energía y contaminación del agua (Ortiz-Cruz *et al.*, 2020). Reyes-Moreno *et al.* (2012) desarrollaron una bebida nutracéutica usando una mezcla de harinas de maíz de calidad proteica (QPM, por sus siglas en inglés) y frijol común (en una relación de 60:40 [p/p], respectivamente) obtenidas mediante una combinación de variables de proceso (temperatura de extrusión [95 °C-195 °C] y velocidad de tornillo [80 rpm-240 rpm], para ambos materiales), buscando así obtener los más altos valores de actividad antioxidante y aceptabilidad de la bebida desarrollada. Se encontró la combinación de variables del proceso de extrusión de temperatura de extrusión y velocidad de tornillo: TE = 98 °C/VT = 218 rpm para maíz y TE = 105 °C/VT = 83 rpm para frijol. Asimismo, reportaron que una porción de 200 ml de esta bebida presentó una actividad antioxidante de 3222 µmol equivalentes de Trolox (ET) y un valor de aceptabilidad de 89, el cual se encuentra en un nivel de satisfacción entre "Me gusta" y "Me gusta mucho" en una escala *Labeled Affective Magnitude* (LAM), reportada por Cardello & Schutz (2004). Espinoza-Moreno *et al.* (2016) realizaron una optimización de las variables de extrusión para la obtención de una botana directamente expandida con valores adecuados en sus propiedades físicas y alto contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, usando una mezcla a base de maíz modificado genéticamente con mayor contenido de lisina (Lys), triptófano (Trp) y proteína que el maíz común. Este maíz expresa una proteína de reserva originalmente presente en el amaranto, llamada amarantina, la cual tiene un contenido adecuado de aminoácidos; se obtuvo por biotecnología moderna insertando en el maíz común copias del ADN (ADNc) del amaranto que codifican amarantina (globulina 11S) y frijol común negro var. Jamapa en una proporción 70:30 (p/p), respectivamente. Así encontraron una combinación óptima de variables de proceso de contenido de humedad de alimentación (CHA) = 15%/Temperatura de extrusión (TE) = 157 °C/Velocidad de tornillo (VT) = 238 rpm, condiciones con las cuales se obtuvieron excelentes valores de digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV), fibra dietaria, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante. Félix-Medina *et al.* (2020) aplicaron la metodología de superficie de respuesta (MSR) como herramienta de optimización de las variables del proceso de extrusión (porcentaje de frijol común [0%-70%], temperatura de extrusión [120 °C-170 °C] y velocidad de tornillo [50 rpm-240 rpm]) para obtener la mejor combinación de las mismas, con el fin de crear una botana directamente expandida a base de una mezcla de maíz y frijol común con buenas características físicas y altos valores de compuestos fenólicos, actividad antioxidante y melanoidinas; encontrando cuatro regiones de combinaciones óptimas dentro de las cuales se encuentra una donde la mezcla de maíz/frijol común fue en una relación de 60:40, respectivamente, y TE = 162.5 °C/VT = 165 rpm.

Esta investigación tuvo como objetivo desarrollar un alimento funcional para adultos mayores (AFAM) con valores altos de aceptabilidad sensorial, propiedades nutricionales, contenido de compuestos fenólicos y actividad antioxidante, usando una mezcla 60%:40% de harinas de maíz y frijol común integrales obtenidas por extrusión con condiciones optimizadas.

Materiales y Métodos

Materiales

El presente trabajo se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Bioprocesos y Alimentos Funcionales de la Facultad de Ciencias Químico Biológicas de la Universidad Autónoma de Sinaloa (FCQB-UAS) en los años 2019-2020.

Las muestras de maíz híbrido 30P49 de Pioneer y frijol común var. Azufrado Higuera fueron proporcionados por el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)-Campo Experimental Valle Culiacán, Culiacán, Sinaloa, México.

Producción de harinas de maíz y frijol común integrales extrudidas (HMIE, HFCIE)

Las harinas se prepararon de acuerdo con lo propuesto por Milán-Carrillo *et al.* (2006). Lotes de 1 kg de maíz o frijol común integrales se fragmentaron en licuadora doméstica para obtener harinas con partículas que pasaron a través de una malla 40-US (0.425 mm). La harina de maíz se mezcló con cal (0.21 g de cal/100 g). Ambas harinas (maíz y frijol) se mezclaron con 15 ml agua destilada + 5 ml aceite vegetal + 1 g NaCl + 0.5 ml lecitina de soya por cada 100 g de harina. Cada lote se empacó en bolsa de polietileno y almacenó a 4 °C por 12 h. La extrusión se llevó a cabo en extrusor de tornillo simple Brabender modelo 20 DN (CW Brabender instruments, Inc, NJ, EUA). Las condiciones de operación se seleccionaron de una combinación axial de variables de proceso: temperatura de extrusión para maíz (TEM) de 95 °C a 195 °C y velocidad de tornillo para maíz (VTM) de 80 rpm a 240 rpm, así como temperatura de extrusión para frijol común (TEFC) y velocidad de tronillo para frijol común (VTFC), en el mismo rango que para maíz (Tabla 1). Los extruidos se enfriaron, se equilibraron a 25 °C y humedad relativa (HR) de 65%, se molturaron para pasar por una malla 80-US (0.180 mm) y se envasaron en bolsas de plástico. Las harinas de maíz integral extrudido (HMIE) y frijol común integral extrudido (HFCIE) se almacenaron a 4 °C (24 h) y se utilizaron para preparar 30 mezclas (60% HMIE + 40% HFCIE) (Tabla 1).

Preparación de alimentos funcionales para adultos mayores

A cada mezcla (66 g) se le añadió agua purificada (134 ml); la suspensión se homogeneizó con una varilla de vidrio por 1 min a 25 °C, se calentó en un horno de microondas por 30 s, se llevó a temperatura ambiente (25 °C) y sensorialmente se evaluó la aceptabilidad (A).

Composición química, fibra dietaria soluble (FDS) e insoluble (FDI)

Los siguientes métodos se utilizaron para evaluar la composición proximal: humedad (925.09B): secado a 130 °C; lípidos (método 920.39C): desgrasado en un equipo Soxhlet con éter de petróleo; proteína (método 960.52): Micro-Kjeldahl (Nx6.25). La FDS y la FDI se evaluaron por el método 985.29 (Association of Official Analytical Collaboration [AOAC], 2012).

Actividad antioxidante (AAox) y compuestos fenólicos totales (CFT)

Para evaluar AAox se utilizó el ensayo de capacidad de absorbancia de radicales de oxígeno (ORAC) utilizando extractos de compuestos fenólicos (libres y ligados) diluidos en solución reguladora de fosfatos 75 mM (pH 7.4). Alícuotas de 25 µL de extractos diluidos se mezclaron con 150 ml de fluoresceína (0.1 mM) y 25 µL del radical peroxilo AAPH (200 mM). Después de 30 min, se midió la fluorescencia (excitación a 485 nm/emisión a 538 nm) (37 °C) a intervalos de 2 min por 60 min, utilizando un lector de microplacas (Synergy™ HT Multi-Detection, BioTek, Inc., Winooski, VT) (Mora-Rochín *et al.*, 2010). Los resultados de AAox se expresaron en µmol equivalentes de Trolox (ET)/100 g con base en masa seca (MS).

Almidón resistente (AR)

La proteína y el almidón digerible se removieron mediante incubación con pepsina (P-7000, Sigma Chemical Co., St. Louis, MO, EUA) (40 °C, pH 1.5, 1 h) y α-amilasa (A -3176, Sigma Chemical Co.) (37 °C, pH 6.9, 16 h). El residuo se trató con KOH 2 M (30 min) y se incubó con amiloglucosidasa (No. 10 102857 001, Roche Diagnostics GmbH) a 60 °C y pH 4.75 por 45 min. La glucosa se determinó usando un ensayo de glucosa oxidasa/peroxidasa (GPSL-0507, Elitech Clinical Systems) (Goñi *et al.*, 1996). El AR se calculó como glucosa (mg) × 0.9. Todas las mediciones se realizaron por triplicado.

Aminoácidos esenciales (AAE), digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV), calificación química (CQ) y relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER)

La composición de aminoácidos esenciales (AAE) se determinó usando una escala analítica (4.6 mm x 250 mm) columna de Hypersil ODS C18 (SGE, Dandenong, Australia) mantenida a 38 °C. Se conectó a un sistema de HPLC (GBC, Dandenong, Australia) equipado con detector de fluorescencia > LC 5100 configurado a 270 nm y 316 nm para excitación y emisión (López-Cervantes *et al.*, 2006). El triptófano se detectó a 280 nm con detector UV. La digestibilidad proteínica *in vitro* (DPIV), calificación química (CQ) y relación de eficiencia proteínica calculada (C-PER) se evaluaron de acuerdo con Salas-López *et al.* (2018). Para la DPIV se utilizó un sistema multienzimático (pepsina, tripsina y pancreatina). La CQ se calculó como: $CQ = (AAE \text{ más limitante} / RAAER \text{ más limitante}) \times 100$, donde AAE = aminoácido esencial y RAAER = requerimiento de AAE recomendado para adultos > 18 años (Food and Agriculture Organization of the United Nations [FAO], 2013). La C-PER se calculó con base en DPIV y la composición de AAE. Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Evaluación sensorial

Los alimentos funcionales para adultos mayores (AFAM) se evaluaron después de 30 min de preparación. El análisis sensorial se realizó mediante tres paneles con 30 jueces. Cada uno de los jueces evaluó todas las muestras (n = 30) (Tabla 1). Los jueces se ubicaron en compartimentos individuales con temperatura (25 °C) y humedad relativa (50%-60%) controladas y luces fluorescentes diurnas. Las muestras se clasificaron en escala bidireccional de 100 mm LAM (denominada magnitud afectiva) (-100 [valor máximo de disgusto imaginable] a +100 [valor máximo de me gusta imaginable]; cero [no me gusta ni me disgusta] es el punto central) para un atributo: Aceptabilidad (A). Para el análisis de datos, estos valores de aceptabilidad se transformaron a una escala de cero a 100 (0 = valor máximo de "me disgusta" imaginable, 100 = valor máximo de "me gusta" imaginable, 50 = no "me gusta ni me disgusta") (Cardello & Schutz, 2004).

Metodología de superficie de respuesta (MSR): diseño experimental, análisis estadístico y optimización

Se aplicó MSR para encontrar la combinación de variables de los procesos de extrusión (para HMIE y HFCIE) para obtener la mejor mezcla (60% HMIE + 40% HFCIE) con AAox alta, apta para elaborar un AFAM con A alta. Se eligió un diseño experimental central compuesto rotatable con dos factores (temperatura de extrusión [TE, 95 °C-195 °C] y velocidad del tornillo [VT, 80 rpm-240 rpm]) y cinco niveles de variación. Variables de respuesta: AAox (de las mezclas) y A (de los AFAM) (Tabla 1).

Se aplicó el análisis de regresión a los datos experimentales. Se obtuvieron polinomios de segundo orden para cada variable de respuesta. Se eliminaron los términos no significativos ($p > 0.1$). Se recalculó un nuevo polinomio para cada variable de respuesta. Se utilizó la función de deseabilidad para encontrar la mejor combinación de variables del proceso de extrusión (TEM = Temperatura de extrusión para maíz/VTM = Velocidad de tornillo para maíz; TEFC = Temperatura de extrusión para frijol común/VTFC = Velocidad de tornillo para frijol común) que da como resultado una mezcla (60% HMIE + 40% HFCIE) con máxima AAox y un AFAM con A alta. Los dos modelos ajustados para cada material pueden evaluarse en cualquier punto (X_1, X_2) en el intervalo de valores estudiados (X_1 [TE] = 95 °C-195 °C, X_2 [VT] = 80 rpm-240 rpm). Se estimaron dos valores para cada modelo ($\hat{Y}_1 [X]$ y $\hat{Y}_2 [X]$). Cada $\hat{Y}_i (X)$ se transformó en un valor de deseabilidad individual ($d_i [X]$), que cae en el rango (0, 1). Una vez que se calcularon los dos $d_i (X)$, se obtuvo la deseabilidad global (D) para las dos variables de respuesta, utilizando la función matemática de transformación $D = (d_1 d_2)^{1/2}$, donde el valor óptimo ideal es $D = 1$. Un valor aceptable para D puede estar entre 0.6 y 0.8. Para los análisis de MSR se utilizó el *software* estadístico Design Expert 7.0.0 (Stat-Ease, Minneapolis, MN, EUA).

Empleando las condiciones óptimas de extrusión, se prepararon HMIE y HFCIE, y se mezclaron en proporción 60% HMIE:40% HFCIE. A esta mezcla de harinas se les evaluó composición química, propiedades nutricionales y actividad antioxidante empleando las técnicas descritas anteriormente. A partir de dicha mezcla optimizada (MO) de harinas, se preparó alimento funcional para adultos mayores (AFAM), al cual se le evaluó composición química y actividad antioxidante.

Resultados

Modelo de predicción para AAox

Los valores de AAox producidos por las mezclas (60% HMIE + 40% HFCIE) variaron de 5202 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$ a 10 673 $\mu\text{mol ET}/100 \text{ g MS}$ (Tabla 1). El análisis de varianza indicó que AAox dependió de los términos lineales de las temperaturas de extrusión (TEM [$p < 0.0001$], TEFC [$p < 0.0016$]), de la velocidad del tornillo para maíz (VTM [$p < 0.0038$]), del término cuadrático de TEM ($(\text{TEM})^2$ [$p < 0.0149$]) y de las interacciones TEM-TEFC ($(\text{TEM})(\text{TEFC})$ [$p < 0.0017$]) y TEM-VTFC ($(\text{TEM})(\text{VTFC})$ [$p < 0.0001$]):

$$\text{AAox} = 7154.15 - 865.74 (\text{TEM}) + 373.79 (\text{VTM}) - 416.56 (\text{TEFC}) + 279.21 (\text{TEM})^2 + 506.65(\text{TEM})(\text{TEFC}) - 765.25 (\text{TEM})(\text{VTFC})$$

El modelo de regresión explicó el 84.70% de la variabilidad total ($p < 0.0001$) en la AAox de las mezclas. El parámetro estadístico *falta de ajuste del modelo* no fue significativo ($p = 0.7098$).

Modelo de predicción de aceptabilidad (A)

Los valores de A de los AFAM variaron de 56 a 84 (Tabla 1). El análisis de varianza mostró que A dependió de los términos lineal de TEM ($p < 0.0001$), de los términos cuadráticos de TEM, TEFC y VTFC ($[TEM]_2$ [$p < 0.0106$]; $[TEFC]_2$ [$p < 0.0004$]; $[VTFC]_2$ [$p < 0.0002$]) y de la interacción TEM-TEFC ($[TEM][TEFC]$ [$p < 0.0152$]):

$$A = 63.07 + 5.92(TEFC) + 1.80(TEM)_2 + 2.68(TEFC)_2 + 2.80(VTFC)_2 - 2.25(TEM)(TEFC)$$

El modelo de regresión explicó el 82.46% de la variabilidad total ($p < 0.0001$) en A de los AFAM preparados a partir de las mezclas. El parámetro estadístico *falta de ajuste del modelo* no fue significativo ($p = 0.2813$).

Tabla 1. Combinaciones de variables del proceso de extrusión utilizadas para producir mezclas de harinas de maíz (60%) y frijol común (40%) integrales extrudidos y resultados experimentales para las variables de respuesta.

Tratamiento	Variables de proceso ¹				Variables de respuesta ²	
	TEM (°C)	VTM (rpm)	TEFC (°C)	VTFC (rpm)	A _{ox} A (μmol TE/100g)	A
1	120	120	120	120	6978	62
2	170	120	120	120	7125	64
3	120	200	120	120	9199	60
4	170	200	120	120	7590	66
5	120	120	170	120	6361	76
6	170	120	170	120	7092	72
7	120	200	170	120	6866	82
8	170	200	170	120	7784	74
9	120	120	120	200	9412	66
10	170	120	120	200	5318	68
11	120	200	120	200	10 296	60
12	170	200	120	200	5865	66
13	120	120	170	200	7802	84
14	170	120	170	200	5202	78
15	120	200	170	200	7788	80
16	170	200	170	200	6859	78
17	95	160	145	160	10 673	68
18	195	160	145	160	6218	70
19	145	80	145	160	7239	56
20	145	240	145	160	8246	66
21	145	160	95	160	8667	65
22	145	160	195	160	6683	80
23	145	160	145	80	6648	76
24	145	160	145	240	7783	70

25	145	160	145	160	7730	64
26	145	160	145	160	6174	60
27	145	160	145	160	7202	66
28	145	160	145	160	6531	60
29	145	160	145	160	6460	64
30	145	160	145	160	7532	66

¹TEM = temperatura de extrusión para maíz y VTM = velocidad de tornillo para maíz, utilizados para producir harina de maíz integral extrudido (HMIE). TEFC = Temperatura de extrusión para frijol común y VTFC = Velocidad del tornillo para frijol común, utilizados para la producción de harina de frijol común integral extrudido (HFCIE).

²AAox = Actividad antioxidante se determinó en las mezclas (60% HMIE + 40% HFCIE); A = Aceptabilidad se evaluó por panelistas al AFAM.

Fuente: Elaboración propia.

Optimización

Los valores máximos comunes para las dos variables de respuesta se obtuvieron a un valor de deseabilidad global (D) de 1.00, como resultado de la mejor combinación de variables del proceso de extrusión para la producción de HMIE (TEM = 97 °C/VTM = 236 rpm) y HFCIE (TEFC = 152 °C/VTFC = 240 rpm) para preparar una mezcla (60% HMIE + 40% HFCIE) optimizada (MO) con alta AAox, apta para elaborar un AFAM optimizado con alta A (Figura 1). El valor de D = 1 obtenido fue superior al considerado aceptable (0.6 < D < 0.8).

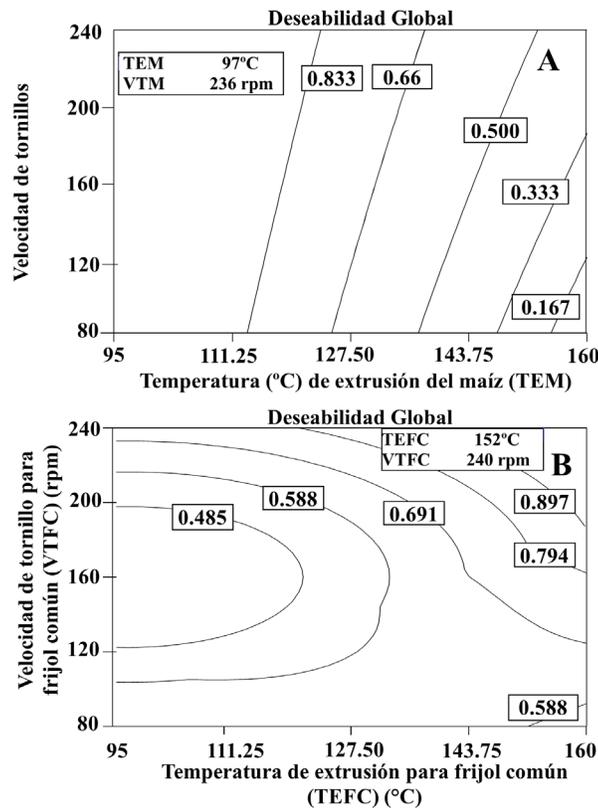


Figura 1. Gráfico de deseabilidad que muestra la mejor combinación de variables del proceso de extrusión para preparar mezcla de harina de maíz integral extrudido (60%) / frijol común integral extrudido (40%) con actividad antioxidante alta apta para elaborar un AFAM con aceptabilidad alta.

a): harina de maíz integral extrudido y b) harina de frijol común integral extrudido.

Fuente: Elaboración propia.

Composición química y propiedades nutricionales de la mezcla optimizada (MO)

La mezcla optimizada (MO) contiene, con base en MS, 15.2% proteínas, 5.5% lípidos, 4.5% minerales y 22.0% fibra dietaria total (FDT) (Tabla 2). La mezcla sin procesar (60% de maíz integral + 40% de frijol común integral con base en MS) contiene 17.6% de FDT (datos no mostrados). El contenido de almidón resistente (AR) en la MO fue del 6.8% MS (Tabla 2). No se detectó AR en granos integrales crudos (datos no mostrados).

En la Tabla 2 se muestra el perfil de aminoácidos esenciales, la calificación química (CQ), la digestibilidad proteica *in vitro* (DPiV) y la relación de eficiencia proteica calculada (C-PER, por sus siglas en inglés). La mezcla optimizada (MO) presentó como aminoácido esencial limitante la lisina (Lys). En la presente investigación el valor de lisina disponible fue evaluado en la MO de acuerdo con la metodología reportada por Pineda-Hidalgo *et al.* (2011), obteniendo un valor de 0.66 g/100 g de proteína. Este valor es significativamente más bajo respecto a la muestra de la mezcla de harinas de maíz y frijol común integrales sin procesar, la cual tuvo un valor de 2.3 g/100 de proteína. Este resultado concuerda con lo mencionado por Félix-Medina *et al.* (2021) respecto al efecto significativo que tiene el proceso de extrusión sobre la lisina disponible de las muestras.

Tabla 2. Composición química y propiedades nutricionales y actividad antioxidante de la mezcla optimizada (60% harina de maíz integral extrudido + 40% harina de frijol común integral extrudido).

Composición química (% MS)	Mezcla optimizada ¹	Requerimientos FAO ²
Proteínas	15.23 ± 0.16	
Lípidos	5.52 ± 0.04	
Minerales	4.5 ± 0.25	
Fibra dietaria total	22.02 ± 0.20	
Almidón resistente	6.8 ± 0.05	
<i>Nutricional</i>		
<i>AAE (g/100 g proteína)³</i>		
His	2.55 ± 0.01	1.50
Ile	3.07 ± 0.02	3.00
Leu	8.36 ± 0.05	5.90
Lys	0.66 ± 0.03	4.50
Met + Cys	3.93 ± 0.01	2.20
Phe + Tyr	7.82 ± 0.05	3.80
Thr	3.24 ± 0.01	2.30
Trp	0.97 ± 0.04	0.66
Val	4.45 ± 0.04	3.90
Total	39.16	27.76
Calificación química	85.42 ± 0.18	
AAE limitante	Lys	
Digestibilidad proteica <i>in vitro</i> (DPiV, %)	85.1 ± 0.35	
Relación de eficiencia proteica calculada (C-PER)	2.24 ± 0.03	

Actividad antioxidante ($\mu\text{mol TE}/100\text{ g MS}$)	
Fenólicos libres	4490 \pm 189
Fenólicos ligados	7894 \pm 302
Total	12 284 \pm 413

Los datos son reportados como la media \pm desviación estándar.

¹Mezcla optimizada = 60% HMIE + 40% HFCIE; HMIE = Harina de maíz integral extrudido; HFCIE = Harina de frijol común integral extrudido.

²Requerimientos de AAE adultos > 18 años de acuerdo con FAO (2013).

³AAE = Aminoácido(s) esencial(es).

Fuente: Elaboración propia

Actividad antioxidante (AAox) de la mezcla optimizada (MO)

Los fenólicos libres, ligados y totales de la mezcla sin procesar (60% de harina de maíz integral crudo + 40% de harina de frijol común integral crudo) tuvieron actividad antioxidante (AAox) de 1732 μmol , 8373 μmol y 10 105 μmol de equivalentes de Trolox (ET)/100 g MS, respectivamente (datos no mostrados en la Tabla 2). La extrusión de los granos integrales incrementó ($p < 0.05$) la AAox total de la MO (12 298 $\mu\text{mol ET}/100\text{ g}$ [BS]) en comparación con la mezcla sin procesar. La AAox de fenólicos libres aumentó ($p < 0.05$) y la de fenólicos ligados disminuyó ($p < 0.05$) en la MO (datos crudos no reportados).

Composición nutrimental, contenido energético, AAox y evaluación sensorial de alimento funcional para adultos mayores optimizado (AFAMO)

Una porción (150 g) de alimento funcional para adultos mayores optimizado (AFAMO), elaborada con 50 g de MO, contiene 6.85 g proteínas, 9.91 g FDT, 3.06 g AR y un contenido energético de 146 kcal; cubre 100% de la ingesta diaria recomendada de antioxidantes y se evaluó con aceptabilidad = 85.

Una porción de 150 g de AFAMO contiene un valor de AAox = 6149 $\mu\text{mol ET}$. El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América recomienda una ingesta de 3000 $\mu\text{mol ET}/\text{día}$ a 5000 $\mu\text{mol ET}/\text{día}$ para mantener un nivel adecuado de antioxidantes en el cuerpo (Espinoza-Moreno *et al.* 2016). Los panelistas asignaron un valor promedio de 85 en aceptabilidad al AFAMO (nivel de satisfacción entre "Me gusta" y "Me gusta mucho") (Cardello & Schutz, 2004).

Discusión

Composición química y propiedades nutricionales de la mezcla optimizada (MO)

García-Grajales *et al.* (2012) reportaron, en tortilla de maíz de calidad proteica (QPM, por sus siglas en inglés) adicionada con frijol negro (relación 70:30), un contenido de 12.04% g/100 g, 3.89% g/100 g, 2.58% g/100 g y 14.72% g/100 g de proteínas, lípidos, minerales y FDT, respectivamente; valores inferiores a los reportados en el MO. La diferencia en los valores reportados por estos autores con los obtenidos en el presente trabajo se debe a una mayor proporción de harina de frijol en la MO, lo cual se ve reflejado en un mayor contenido de proteína, lípidos y minerales totales (García-Grajales *et al.*, 2012). La utilización de granos integrales, como los de maíz y frijol usados en esta investigación, así como, el proceso de extrusión, pudieron haber influido de manera importante en el alto contenido de fibra dietaria de la MO. En el caso del proceso de extrusión su efecto positivo sobre el contenido de fibra dietaria puede ocurrir principalmente por dos vías: en la primera, no hay pérdida de pericarpio (cascarilla) durante la extrusión de maíz y frijol, como ocurre en procesos como la nixtamalización de maíz (Mora-Rochín *et al.*, 2010); y en la segunda, el almidón resistente y complejos de proteína-polisacáridos, originados por los ciclos de calentamiento-enfriamiento

y la reacción de Maillard durante el procesamiento por extrusión pueden ser cuantificados como fibra dietaria (Espinoza-Moreno *et al.*, 2016). Cunha *et al.* (2019) fortificaron pan de maíz tradicional portugués ("broa") con harina de leguminosas para incrementar contenido de proteína y optimizaron la incorporación de leguminosas, considerando la influencia de diferentes harinas de maíz, sobre el gusto del consumidor y el perfil sensorial de broa. El contenido de proteína aumentó, en promedio, 21%.

Alves *et al.* (2018) reportaron contenidos de FDT de 21% a 24% MS en siete variedades mejoradas de frijol común. La presencia de frijol común integral extruido en la MO aumentó el contenido de FDT en un 25.1%.

Grajales-García *et al.* (2012) reportaron que tortillas de masa de QPM nixtamalizado adicionadas con frijol (proporción 70:30, respectivamente) tenían mayor contenido de almidón resistente (6.3% vs. 5.4%, respectivamente) y menos almidón digestible que la tortilla control (elaborada solo con masa de maíz QPM nixtamalizado). Grajales-García y colaboradores también reportaron que después de la digestión simulada *in vitro* la tasa de hidrólisis (60% a 50%) y el índice glucémico previsto (88 a 80) de la tortilla disminuyeron con la adición de frijol en la mezcla. Estos investigadores atribuyeron estos resultados al mayor contenido de almidón resistente al ataque enzimático presente en la harina de frijol negro cocido que en la masa de QPM nixtamalizado. El resultado de almidón resistente presente en esta tortilla a base de QPM nixtamalizado y frijol cocido es similar al almidón resistente (6.8%) presente en la mezcla optimizada a base de harinas de maíz transgénico de alta calidad de proteína y frijol negro (relación 60:40, respectivamente), producidas por extrusión en la presente investigación. El almidón puede ser dividido en tres categorías con base en la velocidad y grado de digestión: 1) almidón de rápida digestión (absorbido en alrededor de 20 min de digestión); 2) almidón de lenta digestión (absorbido entre 20 min-120 min de digestión); y 3) almidón resistente (AR), el cual se caracteriza por no ser digerido en el intestino delgado y pasa al intestino grueso, sirviendo de sustrato para la fermentación por acción de la microbiota colónica (Jiang *et al.*, 2020). En la literatura se han reportado cinco tipos de AR (AR1-5), basados a la naturaleza del almidón y su localización en los alimentos. De todos ellos, el AR3 y AR5 presentan particular interés en alimentos procesados térmicamente, como es el caso de las harinas de maíz transgénico y frijol negro integrales procesadas por extrusión en el presente trabajo de investigación. Este tipo de almidón es resultado de un reacomodo de la estructura intramolecular de los gránulos de almidón después del procesamiento (tratamientos físicos y térmicos), donde las condiciones de procesamiento tienen un papel principal en su formación (Ma *et al.*, 2020). El proceso de extrusión combina tratamientos de calor-humedad y gelatinización en una misma operación, promoviendo de esta manera la formación de AR3. Sin embargo, también el proceso de extrusión promueve la generación de AR5 con la incorporación de materiales como leguminosas que presentan un contenido alto de componentes importantes como proteínas, lípidos y compuestos fenólicos, los cuales pueden interactuar con el almidón, generando complejos y redes estructurales haciendo mayor la resistencia a la digestión de estos por las enzimas (Jiang *et al.*, 2020; Ma *et al.*, 2020).

Gutiérrez-Dorado *et al.* (2008) reportaron un aumento de AR durante la extrusión de maíz de calidad proteica (QPM). Estos autores dijeron que el tratamiento térmico de los granos durante la extrusión promueve la interacción del almidón con otros componentes (proteínas, lípidos o él mismo), haciéndolo menos accesible a hidrólisis enzimática. La ingesta de AR tiene efectos benéficos sobre varios biomarcadores sanguíneos; la suplementación con AR puede tener funciones reguladoras en la homeostasis de la glucosa en sangre, la sensibilidad a la insulina y la concentración de hormonas intestinales (Meenu & Baojun, 2019). Cuando el AR llega al colon, la microbiota intestinal lo fermenta y se producen ácidos grasos de cadena corta, que son capaces de desencadenar la secreción de glucagón, mejorar la saciedad y regular la salud intestinal (Wang *et al.*, 2019).

Félix-Medina *et al.* (2021) desarrollaron una botana directamente expandida usando una mezcla de maíz-frijol común en una relación de 70%:30%, respectivamente, y condiciones de proceso de temperatura de extrusión de 164 °C, además de una velocidad de tornillo de 187 rpm. Ellos evaluaron el perfil de aminoácidos esenciales y reportaron una calificación química de 74.09% para la botana obtenida, siendo la lisina el aminoácido limitante en este alimento al igual que en el presente trabajo. Ellos mencionan que durante el proceso de extrusión hay una disminución en el contenido de lisina debido a que este aminoácido es muy susceptible a reaccionar con azúcares reductores mediante su grupo amino en la posición épsilon durante la reacción de Maillard en el proceso de extrusión por las altas temperaturas. Sin embargo, mencionan que la pérdida o disminución de aminoácidos es directamente proporcional a la intensidad del proceso, jugando un papel fundamental la temperatura, la humedad y el tiempo de residencia del material con las que se procese (Félix-Medina *et al.*, 2021).

Algunos autores (Espinoza-Moreno *et al.*, 2016; Maseta *et al.*, 2017; Reyes-Moreno *et al.*, 2012) han reportado que la combinación de maíz/frijol resulta en una mejora del balance de aminoácidos proteínicos, encontrando relaciones (respectivamente) de 78:22 de maíz QPM y frijol común (Mora-Avilés *et al.*, 2007); de 75:25 a 95:5 de maíz y frijol común blanco (Cuevas-Martínez *et al.*, 2010); 60:40 de maíz QPM y frijol común (Reyes-Moreno *et al.*, 2012); 70:30 de maíz transgénico de alta calidad proteínica (modificado genéticamente utilizando copias de ADN [ADNc] de la globulina 11S de amaranto, que codifica una de las proteínas de almacenamiento más importantes [amarantina] de la semilla, con un alto contenido de aminoácidos esenciales y proteína) y frijol común negro (Espinoza-Moreno *et al.*, 2016); y de 86:14 a 30:70 de maíz y frijol común (Félix-Medina *et al.*, 2020). Los autores reportaron que estas relaciones de harinas cubrieron el 100% del patrón de aminoácidos esenciales de la FAO (2013) para niños de 3 años y mayores, jóvenes y adultos, a excepción de las mezclas reportadas por Cueva-Martínez *et al.* (2010).

Pérez-Navarrete *et al.* (2006) reportaron una digestibilidad proteica *in vitro* de 82% en una mezcla de harinas de maíz y frijol lima extrudidos en una relación 50:50. Por su parte, Ruiz-Ruiz *et al.* (2008) reportaron una digestibilidad proteica *in vitro* de 80% en una mezcla de harinas de maíz QPM y frijol común extrudidos en una relación 60:40. Estos dos valores reportados son similares a los obtenidos en este trabajo para la digestibilidad proteica *in vitro*. Félix-Medina *et al.* (2021) reportaron que la digestibilidad está limitada tanto por la presencia de factores antinutricionales como los inhibidores de proteasas, fenólicos, fitatos, etc., así como por la estructura globular de las proteínas de las leguminosas. Además, mencionan que el mejoramiento de la digestibilidad proteínica se puede deber a la desnaturalización de las proteínas, lo cual incrementa la exposición de los sitios susceptibles a la actividad enzimática, y a la inactivación de inhibidores de tripsina y quimotripsina, promoviendo una mejora en la digestibilidad; estos dos fenómenos son producidos por efecto de la temperatura y fuerza de corte durante el proceso de extrusión.

Actividad antioxidante (AAox) de la mezcla optimizada (MO)

La mejora en la actividad antioxidante en la MO puede atribuirse al uso de la tecnología de extrusión-cocción, la cual es una estrategia útil que podría utilizarse para el desarrollo de alimentos funcionales, debido a la retención o incremento de compuestos fenólicos relacionados con la actividad antioxidante. Este comportamiento podría atribuirse a (1) la ruptura de fitoquímicos conjugados y la liberación de fitoquímicos libres, (2) la prevención de la oxidación de compuestos fenólicos en los alimentos extrudidos por la inactivación enzimática durante el procesamiento y (3) la generación de colores más oscuros de la mezcla optimizada extruida que indican la formación de productos de reacción de Maillard con propiedades antioxidantes (Espinoza-Moreno *et al.*, 2016).

En los granos integrales de maíz y frijol, los compuestos fenólicos existen en formas libres, ligadas y solubles conjugadas. Félix-Medina *et al.* (2021) reportaron algunos de estos compuestos fenólicos (ácidos fenólicos: ferúlico, p-cumárico, siríngico, sinápico, y flavonoides: quercetina, kaemferol, daidzeina, naringenina) en las fracciones libres y ligadas de una botana de segunda generación (directamente expandida) producida por extrusión a partir de una mezcla 70:30 de maíz y frijol común. En la literatura, la mayoría de los reportes científicos acerca de compuestos fenólicos y su actividad antioxidante solamente incluyen la fracción de compuestos solubles en soluciones de metanol, etanol y acetona, los cuales corresponden a fenólicos libres y solubles conjugados; sin embargo, Liu (2007) reportó la importancia de la determinación de compuestos fenólicos libres y ligados. Los fenólicos ligados se localizan principalmente en los materiales de la pared celular, son difíciles de digerir en el tracto gastrointestinal superior y pueden digerirse en el colon para reducir el riesgo de incidencia de cáncer de colon y proporcionar beneficios a la salud (Liu, 2007). El proceso de extrusión induce la liberación de fitoquímicos presentes en las paredes celulares, favoreciendo más disponibles para cuantificarlos (Gómez-Favela *et al.*, 2021).

Espinoza-Moreno *et al.* (2016) optimizaron las variables del proceso de extrusión para producir una botana expandida optimizada a base de maíz mejorado y frijol común negro. La mejor combinación de condiciones de extrusión fue: contenido de humedad de alimentación (CHA) = 15%/temperatura de extrusión (TE) = 157 °C/velocidad de tornillo (VT) = 238 rpm; estas condiciones incrementaron la AAox (ORAC: 18%; ABTS: 20%) con respecto a la mezcla de granos integrales sin procesar.

Félix-Medina *et al.* (2021) caracterizaron el perfil fenólico y el potencial antioxidante de una botana expandida elaborado a base de maíz y mezcla de frijol común (70%/30%) por extrusión. Reportaron un total de 14 compuestos fenólicos (siete ácidos fenólicos y siete flavonoides); además, observaron que el proceso de extrusión solo afectó significativamente ($p < 0.05$) la fracción de fenólicos libres, y que las condiciones del proceso de extrusión (humedad, temperatura, velocidad del tornillo) tienen un impacto crucial en los niveles de compuestos bioactivos (ácidos fenólicos, flavonoides) liberándolos y/o degradándolos.

Composición nutrimental, contenido energético, AAox y evaluación sensorial del alimento funcional para adultos mayores optimizado (AFAMO)

En adultos mayores el consumo de 1.0 g/kg a 1.3 g/kg por día de proteína en la dieta, combinado con ejercicio de resistencia progresivo dos veces por semana, reduce la pérdida de masa muscular relacionada con la edad (Nowson & O'Connell, 2015). La FD y el AR en los alimentos son importantes para la salud porque son ingredientes funcionales asociados a la reducción de la incidencia de cáncer de colon (Amini *et al.*, 2016). Las FD parecen tener un impacto beneficioso en las principales vías fisiopatológicas implicadas en el riesgo cardiovascular (es decir, resistencia a la insulina, renina-angiotensina y sistema nervioso simpático). La fibra sería una opción adecuada para contrarrestar las enfermedades cardio-metabólicas relacionadas con la obesidad (Bozzetto *et al.*, 2018; Meenu & Baojun, 2019).

Una porción de 150 g del AFAMO contiene valores más altos de proteínas, fibra dietaria total y almidón resistente que la mezcla sin procesar; además, cubre 100% de la ingesta diaria recomendada de antioxidantes. La aceptabilidad global del AFAMO se basó en atributos sensoriales como sabor, olor y consistencia, indicando que estas características fueron decisivas para que el nivel de aceptación del alimento se encontrara entre "Me gusta" y "Me gusta mucho". Para poder obtener los beneficios de un nuevo alimento desarrollado con alto valor nutricional y potencial nutracéutico para el mantenimiento de la salud física y la prevención de ECD en adultos mayores, es de primordial importancia que estos productos tengan una adecuada aceptación sensorial, como es el caso del alimento obtenido en la presente investigación.

Espinoza-Moreno *et al.* (2016) realizaron una comparación entre una botana obtenida de una mezcla de maíz transgénico de alto valor nutricional y frijol negro común integrales mediante el proceso de extrusión, y una botana comercial expandida (Cheetos^{MR}). Evaluaron características nutrimentales y actividad antioxidante. Estos investigadores reportaron que la botana obtenida de la mezcla de harinas de granos integrales presentaba valores más altos de proteína, fibra dietética y actividad antioxidante que la botana comercial. Además, indicaron que esta diferencia se debe a que la botana comercial se elabora principalmente con almidón de maíz, mientras que en la botana elaborada con granos integrales se mantienen todos los componentes de los granos, enriqueciendo el producto. Asimismo, la botana de granos integrales mostró excelentes parámetros físicos (diámetro expandido y dureza) así como una buena aceptabilidad sensorial, similar a la botana comercial (Cheetos^{MR}). Estos autores mencionaron que esta botana a base de granos integrales tiene el potencial para competir en el mercado de snacks ofreciendo un producto saludable.

León-Murillo *et al.* (2021) desarrollaron una tortilla para adultos mayores elaborada a partir de harina de maíz azul extruida y harina de chía desgrasada extruida con propiedades nutricionales y nutraceuticas mejoradas. La tortilla para adultos mayores fue comparada contra tortilla maíz azul nixtamalizado y tortilla maíz azul comercial (MASECATM azul) como control y referencia, respectivamente. Las tortillas fueron evaluadas en propiedades nutricionales, antioxidantes, antihipertensivas e hipoglucémicas *in vitro*, así como en sus características tecno-funcionales y sensoriales. León-Murillo y colaboradores encontraron que la tortilla para adultos mayores contenía valores más altos de proteínas, fibra dietética, perfil de aminoácidos esenciales, digestibilidad de proteínas *in vitro* e índice de eficiencia proteica calculado que las tortillas de control y de referencia. También presentaban mejor actividad antioxidante y mejores potenciales antihipertensivos (inhibición *in vitro* de ECA) e hipoglucemiante (inhibición *in vitro* de la α -amilasa y α -glucosidasa) que las tortillas control y referencia. Igualmente, las tortillas para adultos mayores elaboradas a partir de la mezcla de harina de maíz azul extruido y harina de chía desgrasada extruida presentaron propiedades tecno-funcionales y sensoriales similares a las tortillas elaboradas a partir de las harinas control y de referencia. Ellos proponen que este tipo de alimentos podrían ser promovidos a través de políticas públicas para ser utilizados contra la desnutrición y la reducción de la incidencia de enfermedades en México.

Finalmente, Gómez-Favela *et al.* (2021) optimizaron el proceso de extrusión-cocción para elaborar una botana saludable libre de gluten a partir de una mezcla de maíz de calidad proteínica/frijol tépari (70:30). La mejor condición para producir botana saludable libre de gluten fue humedad = 16.4%/temperatura extrusión = 137 °C/velocidad de tornillo = 237 rpm. Además, se comparó la botana saludable libre de gluten (50 g) contra dos botanas comerciales (Cheetos^{MR}, Totis^{MR}), encontrando que la botana saludable libre de gluten presentó un mejor contenido proteínico (6.24 g vs. 2.30 g y 2.58 g), fibra dietaria total (10.29% g vs. 1.97% g y 2.18% g) y AAox (5136 μ mol ET vs. 755 μ mol ET y 745 μ mol ET), así como alta aceptabilidad sensorial (7.34 vs. 7.51 y 5.66, valores obtenidos usando una escala hedónica de 9 puntos) y menor contenido energético (158 kcal vs. 260 kcal y 223 kcal) en comparación con las botanas comerciales.

Conclusiones

La mejor combinación de variables del proceso de extrusión produjo harinas funcionales de maíz transgénico de alta calidad proteínica y frijol negro integrales, adecuadas para preparar una mezcla 60%:40%, respectivamente, con valores altos de actividad antioxidante y un alimento funcional para adultos mayores (AFAM) con buena aceptabilidad sensorial. El alimento funcional optimizado podría representar un alimento valioso para adultos mayores por sus altos contenidos de proteínas, fibra dietaria total y

almidón resistente, así como digestibilidad de proteínas *in vitro*, índice de eficiencia proteica calculado (C-PER) y actividad antioxidante altos. Este AFAM podría usarse para la promoción de la salud, la prevención de enfermedades y como alternativa a alimentos de valor nutricional/nutracéutico bajo que predominan en el mercado.

Agradecimientos

Esta investigación fue financiada por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), Ciencia de Frontera (Grupal), Convocatoria 2019 (Número de identificación: 263,352) y Programa de Fomento y Apoyo a Proyectos de Investigación (Profapi) de la Universidad Autónoma de Sinaloa.

Conflictos de interés

Los autores declaran que no hay conflicto de interés.

Referencias

- Alves, A., Bertoldo, M. T., Nunes da Silva, V. S., & de Castro, T. A. (2018). Nutritional and protein quality of dry Brazilian beans (*Phaseolus vulgaris* L). *Food Science and Technology (Campinas)*, 38(3), 421-427. doi: <https://doi.org/10.1590/1678-457X.05917>
- Amini, A., Khalili, L., Keshtiban, A., & Homoyouni, A. (2016). Resistant starch is a bioactive compound in colorectal cancer prevention. En R. R. Watson & V. R. Preedy (eds.), *Probiotics, prebiotics, and synbiotics: Bioactive foods in health promotion* (pp. 773-780). Academic Press. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802189-7.00058-7>
- Association of Official Analytical Collaboration (AOAC). (2012). Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Methods: 925.09 B, 920.39 C, 960.52, and 985.29. AOAC.
- Aruoma, O. I. (1994). Nutrition and health aspects of free radicals and antioxidants. *Food and Chemical Toxicology*, 32, 671-683. doi: [https://doi.org/10.1016/0278-6915\(94\)90011-6](https://doi.org/10.1016/0278-6915(94)90011-6)
- Aune, D., Keum, N., Giovannucci, E., Fadnes, L. T., Boffetta, P., Greenwood, D. C., Tonstad, S., Vatten, L. J., Riboli, E., & Norat, T. (2016). Whole-grain consumption and risk of cardiovascular disease, cancer, and all-cause and cause-specific mortality: Systematic review and dose-response meta-analysis of prospective studies. *British Medical Journal*, 353, i2716. doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.i2716>
- Bauer, J., Biolo, G., Cederholm, T., Cessari, M., Cruz-Jentoft, A.J., Morley, J.E., Phillips, S., Sieber, C., Stehle, P., Teta, D., Visvanathan, R., Volpi, E., & Boirie, Y. (2013). Evidence-based recommendations for optimal dietary protein intake in older people: A position paper from the PROT-AGE study group. *The Journal of Post-Acute and Long-Term Care Medicine*, 14, 542-559. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jamda.2013.05.021>
- Becerra-Tomás, N., Díaz-López, A., Rosique-Esteban, N., Ros, E., Buil-Cosiales, P., Corella, D., Estruch, R., Fitó, M., Serra-Majem, L., Arós, F., Lamuela-Raventós, R. M., Fiol, M., Santos-Lozano, J. M., Díez-Espino, J., Portoles, O., & Salas-Salvadó, J. (2018). Legume consumption is inversely associated with type 2 diabetes incidence in adults: A prospective assessment from the PREDIMED study. *Clinical Nutrition*, 37(3), 906-913. doi: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2017.03.015>
- Bozzetto, L., Costabile, G., Della-Pepa, G., Ciciola, P., Vetrani, C., Vitale, M., Rivellesse, A. A., & Annuzzi, G. (2018). Dietary fiber as a unifying remedy for the whole spectrum of obesity-associated cardiovascular risk. *Nutrients*, 10(7), 943. doi: <https://doi.org/10.3390/nu10070943>
- Carbas, B., Machado, N., Oppolzer, D., Ferreira, L., Queiroz, M., Brites, C., Rosa, E. A. S., & Barros, A. I. (2020). Nutrients, antinutrients, phenolic composition, and antioxidant activity of common bean cultivars and their potential for food applications. *Antioxidants*, 9(2), 186. doi: <https://doi.org/10.3390/antiox9020186>
- Cardello, A. V., & Schutz, H. G. (2004). Research note numerical scale-point locations for constructing the LAM (Labeled Affective Magnitude) scale. *Journal of Sensory Studies*, 19(4), 341-346. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1745-459X.2004.tb00152.x>

- Cardon-Thomas, D. K., Riviere, T., Tieges, Z., & Greig, C. A. (2017). Dietary protein in older adults: Adequate daily intake but potential for improved distribution. *Nutrients*, *9*(3), 184. doi: <https://doi.org/10.3390/nu9030184>
- Castro, M. L. (2019). Polifenoles: Compuestos bioactivos con efectos benéficos en la prevención de diabetes tipo 2. *Revista digital RED CieN*, *1*(3), 13-18. http://correo.cmn.org.mx/recursos/revista00_3.pdf
- Chávez-Mendoza, C., & Sánchez, E. (2017). Bioactive compounds from Mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*) implications for health. *Molecules*, *22*(8),1360. doi: <https://doi.org/10.3390/molecules22081360>
- Chen, P. X., Zhang, H., Marcone, M. F., Pauls, K. P., Liu, R., Tang, Y., Bing, Z., Renaud, J. B., & Rong, T (2017). Anti-inflammatory effects of phenolic-rich cranberry bean (*Phaseolus vulgaris* L.) extracts and enhanced cellular antioxidant enzyme activities in Caco-2 cells. *Journal of Functional Foods*, *38*, 675-685. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2016.12.027>
- Chun, O. K., Chung, S. J., & Song, W. O. (2007). Estimated dietary flavonoid intake and major food sources of U.S. adults. *The Journal of Nutrition*, *38*, 1244-1252. doi: <https://doi.org/10.1093/jn/137.5.1244>
- Cuevas-Martínez, D., Moreno-Ramos, C., Martínez-Manrique, E., Moreno-Martínez, E., & Méndez-Albores, A. (2010). Nutrition and texture evaluation of maize-white common bean nixtamalized tortillas. *Interciencia*, *35*(11), 828-832. <https://www.redalyc.org/pdf/339/33915598007.pdf>
- Cunha, L. M., Fonseca, S. C., Lima, R. C., Loureiro, J., Pinto, A. S., Vaz, M. C., & Brites, C. (2019). Consumer-driven improvement of maize bread formulations with legume fortification. *Foods*, *8*(7), 235. doi: <https://doi.org/10.3390/foods8070235>
- Espinoza-Moreno, R. J., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O., & Gutiérrez-Dorado, R. (2016). Healthy ready-to-eat expanded snack with high nutritional and antioxidant value produced from whole amarantin transgenic maize and black common bean. *Plant Foods for Human Nutrition*, *71*, 218-224. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-016-0551-8>
- Félix-Medina, J. V., Gutiérrez-Dorado, R., López-Valenzuela, J. A., López-Angulo, G., Quintero-Soto, M. F., Perales-Sánchez, J. X. K., & Montes-Ávila, J. (2021). Nutritional, antioxidant and phytochemical characterization of healthy ready-to-eat expanded snack produced from maize/common bean mixture by extrusion. *LWT-Food Science and Technology*, *142*, 1-7. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111053>
- Félix-Medina, J. V., Montes-Ávila, J., Reyes-Moreno, C., Perales-Sánchez, J. X. K., Gómez-Favela, M. A., Aguilar-Palazuelos, E., & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Second-generation snacks with high nutritional and antioxidant value produced by an optimized extrusion process from corn/common bean flours mixtures. *LWT-Food Science and Technology*, *124*, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109172>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2013). Findings and recommendations of the 2011 FAO expert consultation on protein quality evaluation in human nutrition. En FAO, *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO expert consultation* (pp. 29-50). FAO. <http://www.fao.org/3/i3124e/i3124e.pdf>
- Godos, J., Vitale, M., Micek, A., Ray, S., Martini, D., Del Rio, D., Riccardi, G., Galvano, F., & Grosso, G. (2019). Dietary polyphenol intake, blood pressure, and hypertension: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *Antioxidants*, *8*(6), 152. doi: <https://doi.org/10.3390/antiox8060152>
- Gómez-Favela, M. A., Reyes-Moreno, C., Milán-Carrillo, J., Partida-Preciado R. A., Espinoza-Moreno, J. R., Preciado-Ortiz, R., & Gutiérrez-Dorado, R. (2021). Gluten-free healthy snack with high nutritional and nutraceutical value elaborated from a mixture of extruded underutilized grains (quality protein maize/teparay bean). *Acta Universitaria*, *31*, 1-18. doi: <http://doi.org/10.15174/au.2021.3024>
- González-Ortega, E., Pineyro-Nelson, A., Gomez-Hernandez, E., Monterrubio-Vazquez, E., Arleo, M., Davila-Velderrain, J., Martinez-Debat, C., & Alvarez-Buylla, E. R. (2017). Pervasive presence of transgenes and glyphosate in maize-derived food in Mexico. *Agroecology and Sustainable Food Systems*, *41*(9-10), 1146-1161. doi: <https://doi.org/10.1080/21683565.2017.1372841>
- Goñi, I., García-Diz, L., Mañas, E., & Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. *Food Chemistry*, *56*(4), 445-449. doi: [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(95\)00222-7](https://doi.org/10.1016/0308-8146(95)00222-7)
- Grajales-García, E. M., Osorio-Díaz, P., Goñi, I., Hervert-Hernández, D., Guzmán-Maldonado, S. H., & Bello-Pérez, L. A. (2012). Chemical composition, starch digestibility and antioxidant capacity of tortilla made with a blend of quality protein maize and black bean. *International Journal of Molecular Sciences*, *13*(1), 286-301. doi: <https://doi.org/10.3390/ijms13010286>

- Grosso, G., Marventano, S., Yang, J., Micek, A., Pajak, A., Scalfi, L., Galvano, F., & Kales, S. N. (2017). A comprehensive meta-analysis on evidence of Mediterranean diet and cardiovascular disease: Are individual components equal? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 57(15), 3218–3232. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2015.1107021>
- Gutiérrez-Dorado, R., Ayala-Rodríguez, A. E., Milán-Carrillo, J., López-Cervantes, J., Garzón-Tiznado, J. A., López-Valenzuela, J. A., Paredes-López, O., & Reyes-Moreno, C. (2008). Technological and nutritional properties of flours and tortillas from nixtamalized and extruded quality protein maize (*Zea mays* L.). *Cereal Chemistry*, 85(6), 808-816. doi: <https://doi.org/10.1094/CHEM-85-6-0808>
- Hollænder, P. L. B., Ross, A. B., & Kristensen, M. (2015). Whole-grain and blood lipid changes in apparently healthy adults: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled studies. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 102(3), 556–572. doi: <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.109165>
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). (30 de septiembre de 2019). *Estadísticas a propósito del día internacional de las personas de edad (1º de octubre) datos nacionales* [Comunicado de Prensa Núm. 475/19]. https://www.inegi.org.mx/contenidos/saladeprensa/aproposito/2019/edad2019_Nal.docx
- Institute of Medicine. (2005). *Dietary reference intakes for energy, carbohydrate, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids*. The National Academies Press. doi: <https://doi.org/10.17226/10490>
- Jiang, F., Du, C., Jiang, W., Wang, L., & Du, S. K. (2020). The preparation, formation, fermentability, and applications of resistant starch. *International Journal of Biological Macromolecules*, 150, 1155–1161. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.10.124>
- Kim, S. J., de Souza, R. J., Choo, V. L., Ha, V., Cozma, A. I., Chiavaroli, L., Mirrahimi A., Blanco, S., Di Buono, M., Bernstein, M., Leiter, L. A., Kris-Etherton, P. M., Vuksan, V., Beyene, J., Kendall, C., Jenkins, D. J. A., & Sievenpiper, J. L. (2016). Effects of dietary pulse consumption on body weight: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 103(5), 1213-1223. doi: <https://doi.org/10.3945/ajcn.115.124677>
- Liu, R. H. (2007). Whole grain phytochemicals and health. *Journal of Cereal Science*, 46(3), 207-219. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2007.06.010>
- López-Cervantes, J., Sánchez-Machado, D. I., & Rosas-Rodríguez, J. A. (2006). Analysis of free amino acids in fermented shrimp waste by high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, 1105(1-2), 106-110. doi: <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2005.08.040>
- León-Murillo, J. R., Gutiérrez-Dorado, R., Reynoso-Camacho, R., Milán-Carrillo, J., Perales-Sánchez, J. X. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., & Reyes-Moreno, C. (2021). Nutritional and nutraceutical properties of tortillas made with extruded blue corn and defatted chia, a recommended option for older adults. *Agrociencia*, 55(6), 487-506. doi: <https://doi.org/10.47163/agrociencia.v55i6.2555>
- Lutz, M., Petzold, G., & Albala, C. (2019). Considerations for the development of innovative foods to improve nutrition in older adults. *Nutrients*, 11(6), 1275. doi: <https://doi.org/10.3390/nu11061275>
- Ma, Z., Hu, X., & Boye, J. I. (2020). Research advances on the formation mechanism of resistant starch type III: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(2), 276-297. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1523785>
- Maseta, E., Moshá, T. C., Nyaruhucha, C., & Laswai, H. (2017). Nutritional quality of quality protein maize-based supplementary foods. *Nutrition & Food Science*, 47(1), 42-52. doi: <https://doi.org/10.1108/NFS-04-2016-0042>
- Meenu, M., & Baojun, X. (2019). A critical review on anti-diabetic and anti-obesity effects of dietary resistant starch. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(18), 3019-3031. doi: <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1481360>
- Milán-Carrillo, J., Gutiérrez-Dorado, R., Perales-Sánchez, J. X. K., Cuevas-Rodríguez, E. O., Ramírez-Wong, B., & Reyes-Moreno, C. (2006). The optimization of the extrusion process when using maize flour with a modified amino acid profile for making tortillas. *International Journal of Food Science and Technology*, 41(7), 727-736. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2005.00997.x>
- Mora-Avilés, A., Lemus-Flores, B., Miranda-López, R., Hernández-López, D., Pons-Hernández, J. L., Acosta-Gallegos, J. A., & Guzmán-Maldonado, S. H. (2007). Effects of common bean enrichment on nutritional quality of tortillas produced from nixtamalized regular and quality protein maize flours. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 87(5), 880–886. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2801>

- Mora-Rochín, S., Gutiérrez-Urbe, J. A., Serna-Saldívar, S. O., Sánchez-Peña, P., Reyes-Moreno, C., & Milán-Carrillo, J. (2010). Phenolic content and antioxidant activity of tortillas produced from pigmented maize processed by conventional nixtamalization or extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 52(3), 502-508. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2010.08.010>
- Navarro, I., Periago, M. J., & García, F. J. (2017). Estimación de la ingesta diaria de compuestos fenólicos en la población española. *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 21(4), 320-326. doi: <http://dx.doi.org/10.14306/renhyd.21.4.357>
- Nowson, C., & O'Connell, S. (2015). Protein requirements and recommendations for older people: A review. *Nutrients*, 7(8), 6874-6899. doi: <https://doi.org/10.3390/nu7085311>
- Ortiz-Cruz, R. A., Ramírez-Wong, B., Ledesma-Osuna, A. I., Torres-Chávez, P. I., Sánchez-Machado, D. I., Montañón-Leyva, B., López-Cervantes, J., & Gutiérrez-Dorado, R. (2020). Effect of extrusion processing conditions on the phenolic compound content and antioxidant capacity of sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) Bran. *Plant Foods for Human Nutrition*, 75, 252-257. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00810-6>
- Pérez-Navarrete, C., González, R., Chel-Guerrero, L., & Betancur-Ancona, D. (2006). Effect of extrusion on nutritional quality of maize and Lima bean flour blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 86(14), 2477-2484. doi: <https://doi.org/10.1002/jsfa.2661>
- Pineda-Hidalgo, K. V., Lavin-Aramburo, M., Salazar-Salas, N. Y., Chavez-Ontiveros, J., Reyes-Moreno, C., Muy-Rangel, M. D., Larkins, B. A., & Lopez-Valenzuela, J. A. (2011). Characterization of free amino acid QTLs in maize *opaque2* recombinant inbred lines. *Journal of Cereal Science*, 53(2), 250-258. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2011.01.005>
- Prasanna, B. M., Palacios-Rojas, N., Hossain, F., Muthusamy, V., Menkir, A., Dhliwayo, T., Ndhlela, T., San Vicente, F., Nair, S. K., Vivek, B. S., Zhang, X., Olsen, M., & Fan, X. (2019). Molecular breeding for nutritionally enriched maize: Status and prospects. *Frontiers in Genetics*, 10, 1392. doi: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.01392>
- Reyes-Moreno, C., Argüelles-López, O. D., Rochín-Medina, J. J., Milán-Carrillo, J., Rivera-López, J., Valdez-Ortiz, A., López-Valenzuela, J. A., & Gutiérrez-Dorado, R. (2012). High antioxidant activity mixture of extruded whole quality protein maize and common bean flours for production of a nutraceutical beverage elaborated with a traditional Mexican formulation. *Plant Foods for Human Nutrition*, 67, 450-456. doi: <https://doi.org/10.1007/s11130-012-0324-y>
- Ruiz-Ruiz, J., Martínez-Ayala, A., Drago, S., González, R., Betancur-Ancona, D., & Chel-Guerrero, L. (2008). Extrusion of a hard-to-cook bean (*Phaseolus vulgaris* L.) and quality protein maize (*Zea mays* L.) flour blend. *LWT - Food Science and Technology*, 41(10), 1799-1807. doi: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2008.01.005>
- Salas-López, F., Gutiérrez-Dorado, R., Milán-Carrillo, J., Cuevas-Rodríguez, E. O., Canizalez-Román, V. A., León-Sicairos, C. R., & Reyes-Moreno, C. (2018). Nutritional and antioxidant potential of a desert underutilized legume - tepary bean (*Phaseolus acutifolius*). Optimization of germination bioprocess. *Food Science and Technology*, 38(1), 254-262. doi: <https://doi.org/10.1590/fst.25316>
- Serna-Saldívar, S. O., & Pérez, E. (2019). Food uses of whole corn and dry-milled fractions. En S. O. Serna-Saldívar (ed.), *Corn* (pp. 435-467). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00016-4>
- Wang, M., Wichienchot, S., He, X., Fu, X., Huang, Q., & Zhang, B. (2019). *In vitro* colonic fermentation of dietary fibers: Fermentation rate, short-chain fatty acid production, and changes in the microbiota. *Trends in Food Science & Technology*, 88, 1-9. doi: <https://doi.org/10.1016/j.TIFS.2019.03.005>
- Zorrilla, A. E. (2002). El envejecimiento y el estrés oxidativo. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*, 21(3), 178-185. <http://scielo.sld.cu/pdf/ibi/v21n3/ibi06302.pdf>