

# Formulación de harinas funcionales a partir de semillas de la milpa para su aplicación en un modelo de panificación

Functional flour formulation from milpa-derived seeds for application in a bakery model

Jesús Pedro Paniagua Rivas<sup>1,2</sup>, José Eduardo Michel Páez<sup>1,2</sup>, Jonhatan Contreras-Negrete<sup>2</sup>, Filiberto Ramírez<sup>2</sup>, Luis Mojica<sup>2</sup>, Montserrat Alcázar-Valle<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup> Ingeniería en Biotecnología, Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Occidente, Tlaquepaque, México.

<sup>2</sup> Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, Zapopan, México.

\*Autor de correspondencia: [ealcazar@ciatej.mx](mailto:ealcazar@ciatej.mx)

## Palabras clave:

harina funcional, sistema milpa, *pancakes*, calidad nutricional, maíz, frijol y calabaza.

## Keywords:

functional flours, milpa system, pancakes, nutrition quality, maize, beans and pumpkin.

## Resumen

El objetivo de este estudio fue desarrollar una harina funcional a partir de semillas de la milpa (maíz, frijol y calabaza) para aprovechar sus propiedades nutricionales y techno-funcionales. Además de evaluar su aplicación en la preparación de *pancakes*. A partir de semillas del sistema milpa pigmentadas y no pigmentadas, se obtuvieron harinas mediante desinfección, remojo, cocción, secado, molienda y tamizado. Se analizó la composición bromatológica, la capacidad de absorción de agua y de aceite, la solubilidad, la densidad, el pH, el color (CIEL\*a\*b\*) y la textura, así como una evaluación sensorial mediante una escala hedónica de diez puntos. Los resultados mostraron contenidos proteicos superiores ( $\approx 20\%$ ) respecto a la harina control ( $4\%$ ), así como una mayor capacidad de absorción de agua ( $1.7 \text{ g/g}$  frente a  $0.5 \text{ g/g}$ ). La cohesividad fue similar entre las formulaciones ( $p > 0.05$ ) y la aceptación sensorial alcanzó el  $74.1\%$  (puntajes  $> 6.0$ ). Se concluye que la harina de milpa presenta un alto valor nutricional y propiedades funcionales prometedoras para productos horneados, lo que la convierte en una alternativa sustentable y saludable.

## Abstract

The objective of this study was to develop a functional flour from milpa seeds (maize, beans, and pumpkin) to leverage their nutritional and techno-functional properties. Additionally, its application in pancake preparation was evaluated. Flours were obtained from pigmented and non-pigmented seeds of the milpa system by cleaning, soaking, cooking, drying, milling, and sieving. Bromatological composition, water and oil absorption capacities, solubility, bulk density, pH, color (CIEL\*a\*b\*), and texture were analyzed, as was a sensory evaluation using a ten-point hedonic scale. Results showed higher protein content ( $\approx 20\%$ ) than in the control flour ( $4\%$ ) and a greater water absorption capacity ( $1.7 \text{ g/g}$  vs.  $0.5 \text{ g/g}$ ). Cohesiveness was comparable across the formulations ( $p > 0.05$ ), and sensory acceptance was  $74.1\%$  (scores  $> 6.0$ ). It is concluded that milpa flour has a high nutritional value and promising functional properties for bakery applications, making it a sustainable and healthy alternative.

Recibido: 22 de octubre 2025  
Revisado: 05 de diciembre 2025  
Aceptado: 18 de diciembre 2025  
Publicado: 23 de febrero 2026



Este artículo es un artículo de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la licencia CC BY-NC-SA 4.0. Para ver una copia de esta licencia visite <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>



## Introducción

La malnutrición sigue siendo uno de los principales desafíos de salud a nivel mundial, incluyendo la desnutrición, las deficiencias de micronutrientes, así como el sobrepeso y la obesidad (WHO, 2024). En 2022, se estimó que el 43% de la población adulta mundial presentó sobrepeso y el 16% obesidad (WHO, 2025; Torero Cullen, 2025). En México, las tasas de sobrepeso y obesidad son preocupantes; entre niños y adolescentes, más del 30% sufren sobrepeso, y en adultos, más del 70% se consideran con sobrepeso u obesidad, lo que representa un incremento del 42% desde el año 2000 (Zárate-Ortiz et al., 2019). Estas condiciones han provocado un aumento de las enfermedades crónicas, como la diabetes tipo 2, la hipertensión y las cardiopatías (Shamah-Levy et al., 2021).

Los productos de panificación elaborados con harinas refinadas tienden a ser densos en términos energéticos y a presentar un alto contenido de carbohidratos, con frecuencia acompañados de grasas y azúcares añadidos; este perfil favorece dietas desequilibradas que pueden derivar en deficiencias de micronutrientes, así como en el sobrepeso (Torero Cullen, 2025). Una estrategia prometedora para mejorar su calidad nutricional consiste en incorporar ingredientes tradicionales. En México y Centroamérica, el sistema milpa, conformado por maíz, frijol y calabaza, ofrece una combinación con elevado potencial nutritivo, cuya integración en la formulación de alimentos podría contribuir a elevar la calidad nutricional (Lozada-Aranda et al., 2017).

El sistema milpa ha sido reconocido por generar sinergias nutricionales significativas gracias a la combinación complementaria de sus componentes (Damián Huato, 2023). El maíz (*Zea mays* L.) es el cereal energético por excelencia; sin embargo, carece de algunos aminoácidos, como la lisina y el triptófano (Chan-Chan et al., 2021). Al combinarse con el frijol, que aporta estos aminoácidos, se eleva el valor biológico de la proteína, lo que permite un perfil proteico más equilibrado (Aguilar Castillo, 2024). El frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), además de aportar un alto contenido de proteína (17–40%), puede aportar otros micronutrientes, como vitaminas, minerales y compuestos bioactivos, como los compuestos fenólicos (Alcázar-Valle et al., 2021; Flores López, 2024), mientras que las semillas de calabaza (*Cucurbita* spp.) aportan ácidos grasos insaturados, fibra, vitaminas y minerales (Lemus-Mondaca et al., 2019). Aprovechar estos ingredientes ancestrales en la elaboración de harinas compuestas podría mejorar la calidad nutricional de los alimentos, en particular en la industria de la panificación.

El desarrollo de harinas compuestas emplea diseños de mezcla para optimizar las proporciones según metas nutricionales y tecnológicas, seguidos de análisis de propiedades tecno-funcionales para anticipar el rendimiento en la formulación de masas y batidos (Salazar Silvestre, 2019; Cconocc Roca, 2023). Algunos reportes señalan que



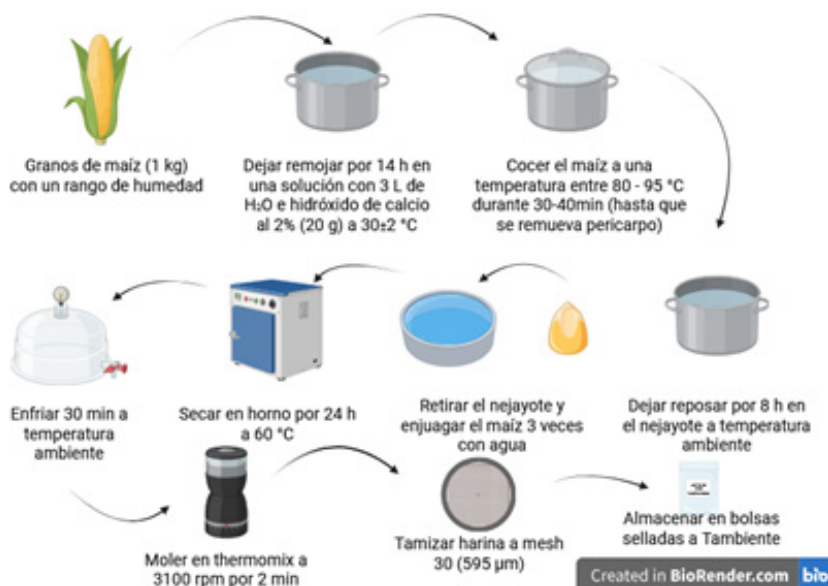
mezclar harinas de leguminosas con cereales aumenta el contenido de proteínas y de fibra en panes y tortillas. También se ha documentado que al reemplazar parcialmente la harina de trigo por harina de frijol blanco (hasta un 9%), se conservan el volumen y la textura de los productos de panificación y se mejora el contenido de proteína (Eusebio Quispe, 2024; Flores Chaca, 2022). Finalmente, se ha reportado que la evaluación sensorial confirma que las sustituciones moderadas de ingredientes mantienen o mejoran la aceptación (aroma, sabor, color, textura, esponjosidad) en comparación con los controles tradicionales (González Samayoa, 2024). El presente estudio tiene como objetivo desarrollar y evaluar una harina compuesta de maíz, frijol y semilla de calabaza para su aplicación en un modelo de panificación.

## Materiales y Métodos

### Preparación de harinas

#### *Preparación de harina de maíz*

Se realizó el tratamiento del maíz mediante nixtamalización (Rosado-Zarrabal et al., 2021; Santiago-Ramos et al., 2018). Los granos de maíz fueron cocidos en una solución acuosa de hidróxido de calcio, lo que permitió suavizar el pericarpio y el endospermo y facilitó su posterior molienda (Figura 1). Posteriormente, los granos fueron sometidos a un proceso de secado a 55 °C, con el propósito de reducir la humedad al rango de 10–12%, conservando el color natural y evitando la gelatinización del almidón. Finalmente, se realizó el enfriamiento en desecador, seguido de la molienda y el tamizado (Contreras-Jiménez, 2009)

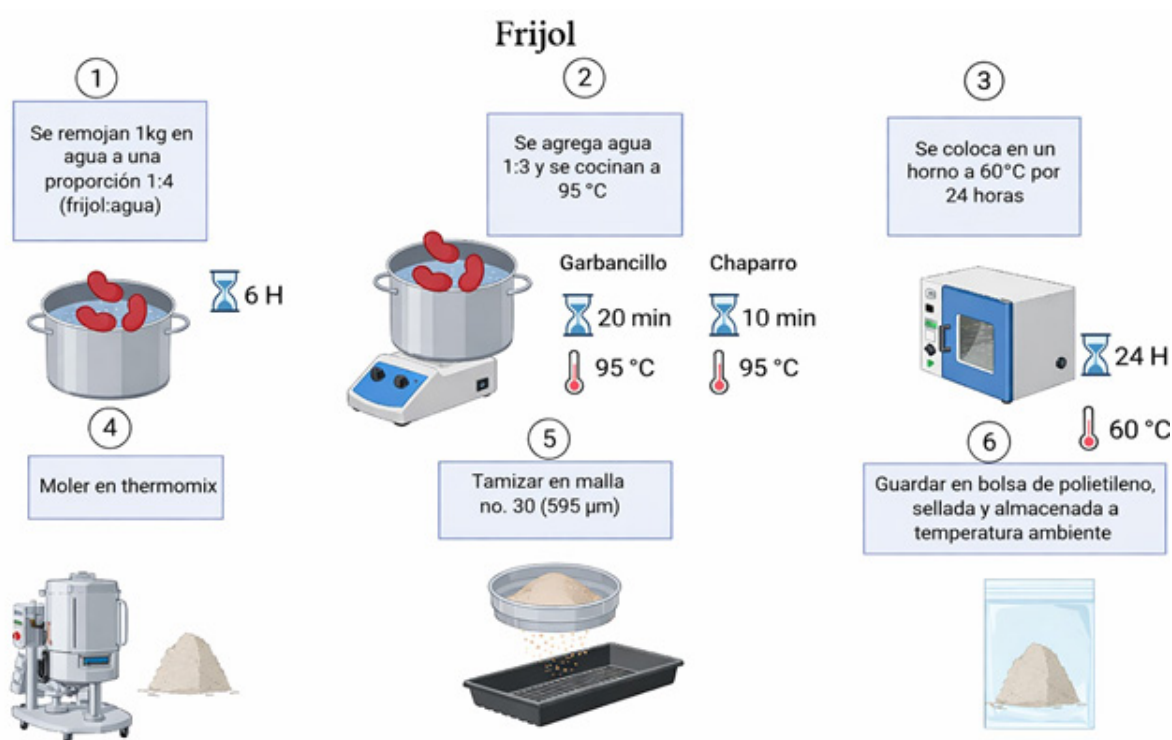


**Figura 1.** Metodología para la producción de harina de maíz nixtamalizado  
**Fuente:** propia



### Preparación de harina de frijol

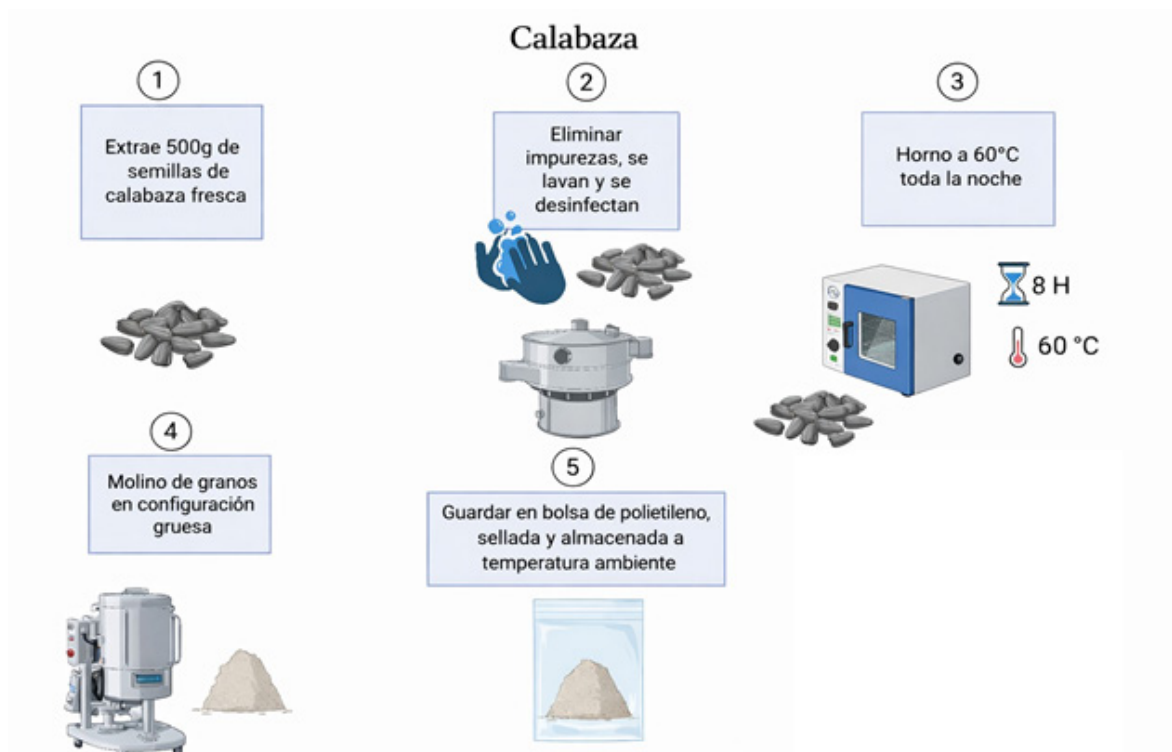
Se preparó la harina de frijol mediante cuatro etapas principales: remojo, cocción, secado y molienda (Figura 2). El remojo se efectuó en una proporción de 1:4 (frijol: agua p/v) durante 6 h a temperatura ambiente (Singh et al., 2015). Posteriormente, se realizó la cocción del frijol. Para el frijol no pigmentado (frijol garbancillo) fue de 95 °C durante 20 min; para el frijol pigmentado (frijol chaparro) fue de 95 °C durante 10 min (Gallegos-Infante et al., 2012). El secado, de ambas accesiones de frijol se efectuó a 60 °C durante 24 h, reduciendo la humedad al 8–10% (Coffmann & Garcia, 1977). Finalmente, la molienda y el tamizado (Osuna-Gallaerdo et al., 2023).



**Figura 2.** Metodología para la producción de harina de frijol  
**Fuente:** propia

### Preparación de harina de calabaza

Se obtuvo harina de calabaza a partir de semillas de la especie *Cucurbita spp.* (Figura 3). Las semillas fueron sometidas a un proceso de limpieza y desinfección. Posteriormente, se realizó el horneado a 60 °C durante 8 h (Nergiz & Özcan, 1999). Finalmente, las semillas deshidratadas fueron molidas en una Thermomix® y posteriormente tamizadas (Rodriguez Batista et al., 2018).



**Figura 3.** Metodología para la producción de harina de calabaza

Fuente: propia

### Formulación de la mezcla de harinas

Con la obtención previa de las tres harinas (maíz, frijol y calabaza), se formuló una mezcla equilibrada con un alto contenido de proteína y una cantidad significativa de fibra dietética, ajustando las proporciones de cada harina para alcanzar dichos parámetros (Tabla 1). Para determinar las proporciones, se emplearon los datos del análisis bromatológico de cada harina.

**Tabla 1.** Composición nutrimental de la mezcla de harinas en base seca\*

Tipo de semilla	Cantidad (g) en 100g	Porcentaje de propiedad nutrimental (%)				Cantidad de propiedad nutrimental (g) en 100 g de mezcla de harina			
		Proteína	Fibra	Grasas	Carbohidratos	Proteína	Fibra	Grasas	Carbohidratos
<b>Maíz</b>	50	10.81	9.86	4.05	73.23	5.41	4.93	2.025	36.62
<b>Frijol</b>	25	28.71	13.84	1.64	59.64	7.18	3.46	0.41	14.91
<b>Calabaza</b>	25	34.76	13.60	25.28	30.57	8.69	3.4	6.32	7.64
					<b>Total</b>	<b>21.27</b>	<b>11.79</b>	<b>8.755</b>	<b>59.17</b>

\*Los porcentajes nutrimentales se obtuvieron a partir de un análisis bromatológico del CIATEJ



### Metodología para la elaboración de *pancakes*

Para la elaboración de *pancakes*, se pesaron las harinas de maíz, frijol y calabaza. La combinación de dichas harinas se realizó conforme a la Tabla 1; posteriormente, se mezclaron hasta obtener una harina homogénea. A continuación, para preparar la masa de *pancakes*, se siguieron las instrucciones de una receta convencional que incluye huevo, leche, vainilla y fruto del monje como sustituto de azúcar. Todos los ingredientes se mezclaron hasta obtener una masa homogénea. En un sartén caliente, engrasado con mantequilla, se añadieron 30 mL de masa de *pancakes* con un aro de acero inoxidable.

### Metodología para propiedades funcionales

#### *Capacidad de absorción de agua (CAA)*

Se pesaron 2 g de cada harina y se colocaron en un tubo de centrífuga de 50 mL. Posteriormente, se añadieron 40 mL de agua destilada y se agitó en un vórtex durante 1.5 min. Se dejó reposar 10 min a temperatura ambiente y, nuevamente, se agitó durante 20 s. Este procedimiento se repitió siete veces. Finalmente, los tubos se centrifugaron a 3000x g durante 25 min. El sobrenadante obtenido se descartó y los tubos con el precipitado se secaron de manera inclinada (15-20°) durante 25 min a 50 °C. Una vez seco, el precipitado fue pesado. Para obtener la capacidad de absorción de agua se utilizó la Ecuación 1 (Fernández Salvador, 2017).

$$CAA_{(g)} = \frac{\text{Peso harina sedimentada} - \text{Peso tubo vacío}}{\text{Peso harina seca}} - 1 \quad \text{Ecuación 1.}$$

#### *Capacidad de absorción de aceite (CAAceite)*

Se pesó 1 g de cada harina y se mezcló con 10 mL de aceite de soya durante 30 s. Se dejó en reposo durante 30 min a temperatura ambiente. Posteriormente, las muestras se centrifugaron a 3000x g durante 30 min. Se midió el volumen del sobrenadante obtenido en una probeta de 10 mL. Para obtener el resultado, se restó al volumen de 10 mL de aceite el volumen recuperado tras el centrifugado y se reportó la capacidad de absorción de aceite (Chaparro A. et al., 2011).

#### *Índice de solubilidad en agua (ISA)*

Se pesaron 2 g de cada harina en un tubo de centrífuga y se añadieron 40 mL de agua destilada. La mezcla fue agitada cuidadosamente con varilla de vidrio y calentada en un termobañó a 90 °C durante 10 min. Posteriormente, se dejó enfriar y se centrifugó a 3000x g durante 10 min. Se separó y pesó el sobrenadante vertiéndolo



en cápsulas previamente llevadas a peso constante. Las cápsulas con sobrenadante se secaron en la estufa a 110 °C durante 24 h y, finalmente, se pesaron junto con el residuo seco. Además, se pesó la fracción residual de precipitado en los tubos (harina hidratada) (Fernández Salvador, 2017).

#### *Análisis de perfil de textura (APT)*

El análisis de textura se realizó con el equipo TA.XT.plus.Stable Micro System. La configuración fue la siguiente: sonda cilíndrica de 25 mm de diámetro Perxpen (P/25P), velocidad de 0.5 mm/s, distancia de 20% de deformación. Se realizó una prueba con ocho *pancakes* de cada mezcla. Los datos se procesaron con el software Exponent V Stable Micro System; se determinaron variables como la dureza, la cohesividad, la elasticidad y la masticabilidad (Marta et al., 2023).

#### *Prueba sensorial*

Se realizó una prueba sensorial hedónica de nivel de agrado con consumidores no entrenados, utilizando *pancakes* preparados al momento. A cada consumidor se le proporcionó una muestra codificada para su degustación. Se evaluaron los atributos de aceptabilidad general, color, textura, criterios de decisión y probabilidad de compra futura.

La evaluación se realizó mediante una encuesta digital con una escala hedónica de 10 puntos, donde 1 corresponde a “muy malo”, 5 a “regular” y 10 a “muy bueno”. La prueba se realizó con las dos formulaciones de pancake, harina de semilla pigmentada (n=27) y no pigmentada (n=28). Para el análisis de aceptabilidad, se consideraron respuestas positivas aquellas con puntuaciones iguales o superiores a 6 (“aceptable”) (Euan-Pech et al., 2024).

#### *Análisis estadístico*

Las pruebas fueron llevadas a cabo a partir de triplicados independientes, y los resultados fueron reportados como valores promedio  $\pm$  desviación estándar. Además, los datos se procesaron mediante análisis de varianza (ANOVA) y las pruebas de Tukey y Fisher para la comparación de medias ( $p < 0.05$ ). Se utilizó el software STATGRAPHICS 19 (Statgraphics Technologies Inc., The Plains, VA, USA)

## **Resultados y Discusión**

Se trabajó con variedades de semillas de maíz (*Zea mays* L.) y de frijol (*Phaseolus vulgaris* L.), tanto pigmentadas como no pigmentadas. En la Tabla 2 se presentan los tipos de harina obtenidos, junto con sus abreviaturas.



**Tabla 2.** Especies de semillas seleccionadas para la obtención de harinas

Abreviatura	Tipo de harina
ZM	<i>Zea mays</i> L.
ZM-P	<i>Zea mays</i> L. (pigmentado)
PV	<i>Phaseolus vulgaris</i> L.
PV-P	<i>Phaseolus vulgaris</i> L. (pigmentado)
CU	<i>Cucurbita argyrosperma</i> Huber
MZ	Mezcla semillas
MZ-P	Mezcla semillas pigmentados
T	Control (harina para pancake comercial)

Para las harinas de maíz (ZM, ZM-P) y las mezclas de semillas hechas harina (MZ, MZ-P) se observaron valores de densidad intermedios (18.6-20.9 g/mL), similares a los del control (Tabla 3); estos valores indican una posible integración de componentes como almidones y proteínas, lo que sugiere un fuerte potencial de estas mezclas en relación con la harina comercial (Gudeta & Damtew, 2019). En la medición del pH se observó que las harinas presentaron los valores más alcalinos; el proceso previo de nixtamalización pudo haber generado residuos de carbonatos o hidróxidos, lo que eleva el pH. Un pH elevado favorece la gelatinización del almidón y mejora la absorción de agua en mezclas para horneados (Rosado-Zarrabal et al., 2021).

**Tabla 3.** Densidad (g/mL) y pH de las muestras de harina\*

Muestra	Densidad (g/mL)	pH
ZM	20.87 <sup>D</sup>	7.5 <sup>F</sup>
ZM-P	19.27 <sup>BC</sup>	7.0 <sup>CD</sup>
PV	23.57 <sup>E</sup>	6.6 <sup>A</sup>
PV-P	22.93 <sup>E</sup>	6.8 <sup>B</sup>
CU	16.90 <sup>A</sup>	7.1 <sup>E</sup>
MZ	19.83 <sup>BCD</sup>	7.0 <sup>DE</sup>
MZ-P	18.60 <sup>B</sup>	6.9 <sup>C</sup>
T	20.83 <sup>CD</sup>	6.6 <sup>A</sup>

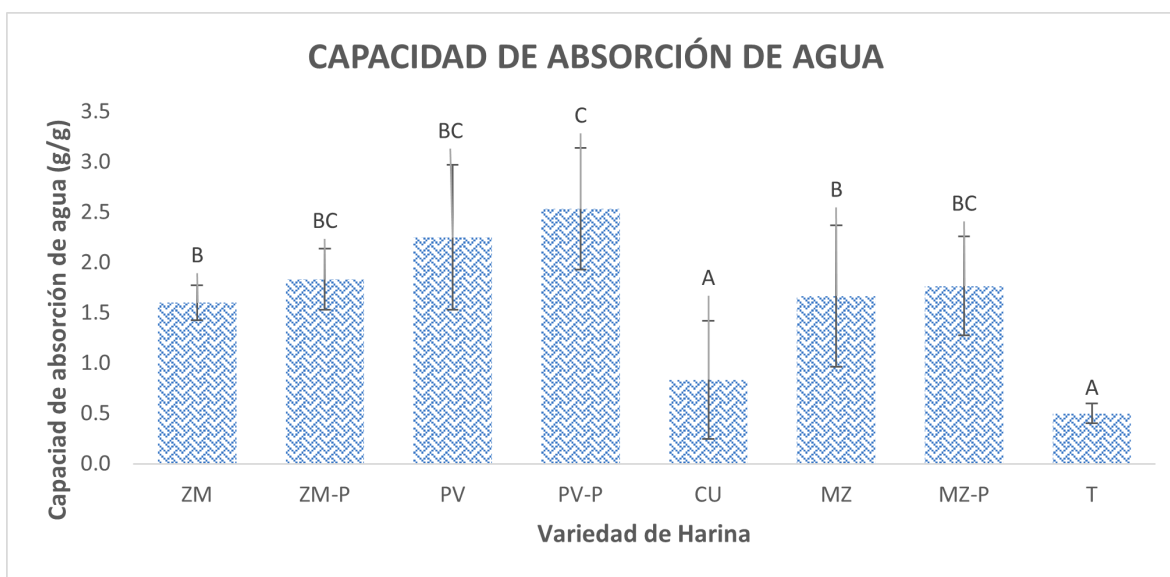
Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes (n=3), de acuerdo con el análisis de Tukey (p<0.05)

Las harinas de frijol (PV y PV-P) presentaron una densidad mayor; esto se atribuye a su contenido de proteína y fibra, así como a su estructura más compacta tras el secado y la molienda, lo que sugiere que las harinas provenientes de leguminosas son menos porosas (Gudeta & Damtew, 2019). En el caso del pH, se observaron



valores más ácidos, lo que coincide con el pH natural de las proteínas vegetales y con el de los compuestos fenólicos presentes en las leguminosas. Esta característica influye positivamente en la estabilidad microbiológica, ya que un pH menor a 7 puede reducir el riesgo de deterioro microbiano (Mejía-Terán et al., 2024).

La harina de calabaza (CU) presentó la menor densidad (16.90 g/mL) debido a su alto contenido de lípidos y de fibra poco soluble, lo que genera una estructura ligera y aireada tras la molienda. En el caso del pH, se observa un valor neutro, acorde con los valores esperados de su estructura (Bekele & Emire, 2023). Para las propiedades funcionales de las harinas, se realizaron pruebas para determinar la capacidad de absorción de agua (Figura 4), la capacidad de absorción de aceite (Figura 5) y el índice de solubilidad en agua (Figura 6).



**Figura 4.** Capacidad de absorción de agua de las muestras de harina. Los valores con letra diferente representan diferencias estadísticamente significativas ( $n=3$ ), de acuerdo con el análisis de Tukey ( $p<0.05$ )

En la Figura 4 se observa que la mayor capacidad de absorción de agua correspondió al frijol pigmentado y al no pigmentado. Este comportamiento se atribuye a su alto contenido proteico dado que los grupos polares de los aminoácidos establecen interacciones hidrofílicas (puentes de hidrógeno) con el agua. Además, la presencia de polisacáridos no almidonados y de fibras puede generar la formación de una estructura proteico-fibrilar que favorece a la absorción (Gudeta & Damtew, 2019).

La harina de calabaza y la harina control presentaron los valores más bajos en la capacidad de absorción de agua. La naturaleza hidrofóbica de los lípidos presentes en la calabaza, junto con su bajo contenido de almidón, es factor que disminuye esta propiedad funcional (Bekele & Emire, 2023; Himani Ruwanthika et al., 2023). En

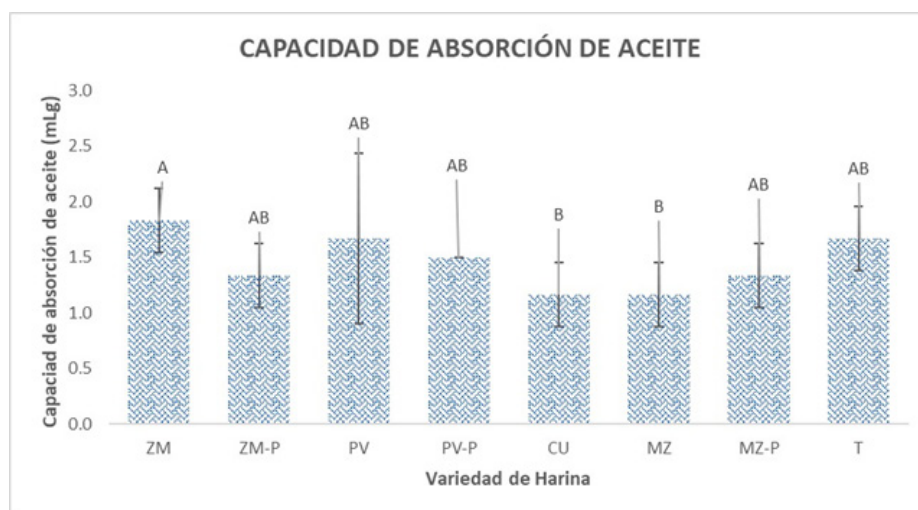


el caso de la harina control, los procesos industriales como el secado intensivo, la incorporación de agentes emulsionantes o antiaglutinantes, o una posible reducción del contenido de fibra, reducen la capacidad de absorción (Mathobo et al., 2021). Los resultados obtenidos para la absorción de aceite se muestran en la Figura 5. Se observa que las harinas que presentaron mayor absorción fueron la de maíz no pigmentado, la de frijol no pigmentado y la harina control.

En el caso de la harina de maíz no pigmentado, este aumento en la capacidad de absorción de aceite se puede deber a la nixtamalización previa, debido a la desnaturalización de proteínas, lo que provocó que su grupo hidrofóbico interactuara con las cadenas de ácidos grasos del aceite, provocando una absorción mayor (Arendt & Zannini, 2013).

La harina de frijol, al presentar un alto contenido proteico y una estructura menos expuesta a grupos hidrofóbicos, también presenta una absorción considerable, aunque no tan alta como en el maíz no pigmentado (Gudeta & Damtew, 2019). La harina control también presentó un valor alto; lo anterior puede deberse a factores como la adición de emulsificantes, lípidos residuales y superficies más porosas, que aumentan su afinidad por el aceite debido a regiones hidrofóbicas expuestas que lo atrapan por adsorción capilar (Yousif et al., 2012).

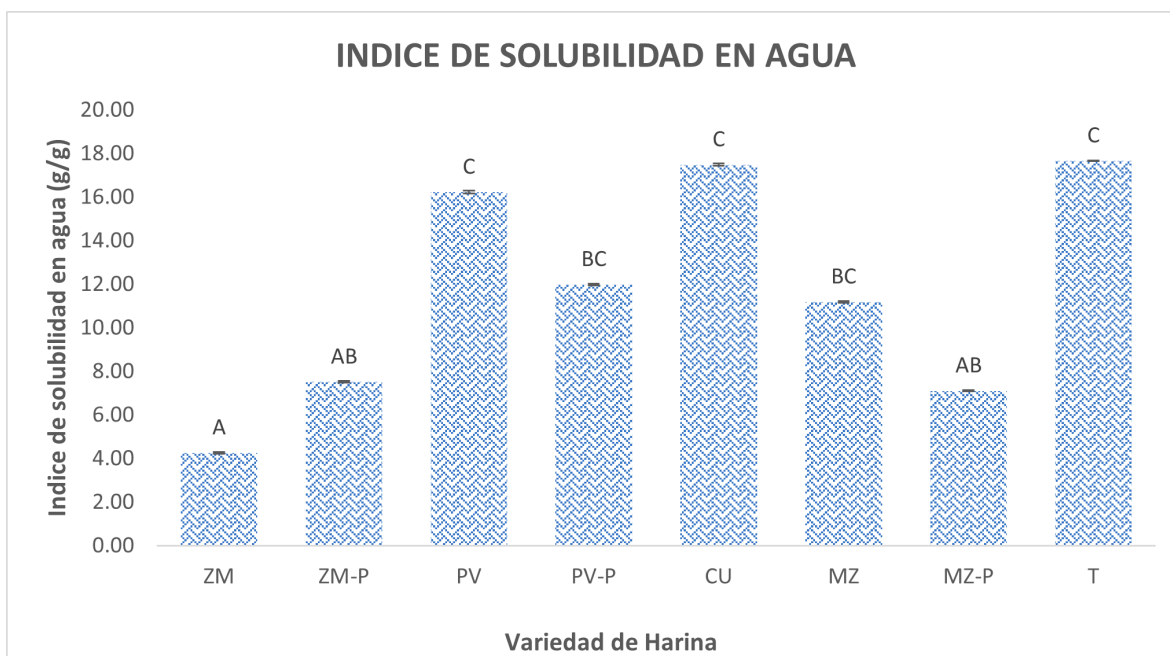
Las harinas de calabaza y las harinas pigmentadas presentaron la menor capacidad de absorción de aceite (Figura 5). En el caso de la harina de calabaza, se puede deber su contenido proteico, almidones y una matriz rica en fibra dietética, con propiedades altamente hidrofílicas. Mientras que las harinas pigmentadas, al contener compuestos fenólicos, pueden interactuar con proteínas y polisacáridos modificando la estructura de estas moléculas, lo que puede provocar una baja absorción (Bekele & Emire, 2023; Czajkowska-González et al., 2021).



**Figura 5.** Capacidad de absorción de aceite de las muestras de harina. Los valores con letra diferente representan diferencias estadísticamente significativas ( $n=3$ ), de acuerdo con el análisis de Fisher ( $p<0.05$ ).



En la Figura 6 se observa que las harinas con mayor índice de solubilidad en agua fueron la control, calabaza y frijol no pigmentado, mientras que las de maíz y las mezclas de milpa presentaron los valores más bajos. La elevada solubilidad de las primeras se asocia a su mayor contenido de compuestos hidrofílicos, como proteínas solubles, azúcares simples y fibras solubles, que favorecen su dispersión en medios acuosos (Drago et al., 2007; Osuna-Gallardo et al., 2023).



**Figura 6.** Índice de solubilidad en agua de las muestras de harina. Los valores con letra diferente representan diferencias estadísticamente significativas ( $n=3$ ), de acuerdo con el análisis de Tukey ( $p<0.05$ )

En contraste, el maíz nixtamalizado mostró menor solubilidad (Figura 6) debido a las modificaciones estructurales inducidas por la nixtamalización, que reducen la solubilidad de los almidones y las proteínas. Asimismo, las mezclas pigmentadas de milpa (MZ-P) evidenciaron una menor solubilidad, atribuible a la presencia de compuestos fenólicos, que pueden formar complejos con proteínas y limitar la disponibilidad de fracciones solubles (Czajkowska-González et al., 2021).

Para determinar la textura de los *pancakes*, se prepararon muestras a partir de las harinas del control (T), de la mezcla no pigmentada (MZ) y de la mezcla pigmentada (MZ-P), y se sometieron a una prueba de análisis de textura (APT). Los resultados se muestran en la Tabla 4.



**Tabla 4.** Análisis APT de las muestras de *pancakes*

Parámetro	Control	Pancake milpa	Pancake milpa pigmentado
Dureza (N)	2.32±0.87 <sup>A</sup>	3.43±1.89 <sup>A</sup>	5.57±1.25 <sup>A</sup>
Adhesividad (N*s)	-0.0038±0.004 <sup>A</sup>	-0.0052±0.0035 <sup>A</sup>	-0.0023±0.0031 <sup>A</sup>
Elasticidad (mm)	1.03±0.12 <sup>A</sup>	1.34±1.39 <sup>A</sup>	0.99±0.18 <sup>A</sup>
Cohesividad (NS)	0.90±0.022 <sup>B</sup>	0.89±0.89 <sup>AB</sup>	0.87±0.021 <sup>A</sup>
Gomosidad (N)	1.71±0.76 <sup>A</sup>	3.06±1.69 <sup>A</sup>	4.96±1.05 <sup>A</sup>
Masticabilidad (N)	1.73±0.72 <sup>A</sup>	3.59±2.63 <sup>A</sup>	5.22±0.91 <sup>A</sup>

Los valores con letra diferente en el mismo parámetro son significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ), de acuerdo a la prueba de Tukey ( $n=8$ )

En el parámetro de dureza, las muestras basadas en las mezclas de las semillas de la milpa mostraron un incremento con respecto al control (3.43 N y 5.57 N frente a 2.32 N, respectivamente), lo cual puede atribuirse a su mayor contenido de fibra dietética y compuestos fenólicos, responsables de generar estructuras más compactas y de menor deformabilidad (Mejía-Terán et al., 2024).

La adhesividad fue baja en todas las formulaciones, observándose el valor más reducido en el pancake elaborado con la mezcla de semillas de milpa pigmentadas (Tabla 4), lo que sugiere una menor adherencia superficial asociada a la presencia de almidones y azúcares modificados que limitan la retención de humedad libre (Bressani et al., 2001)

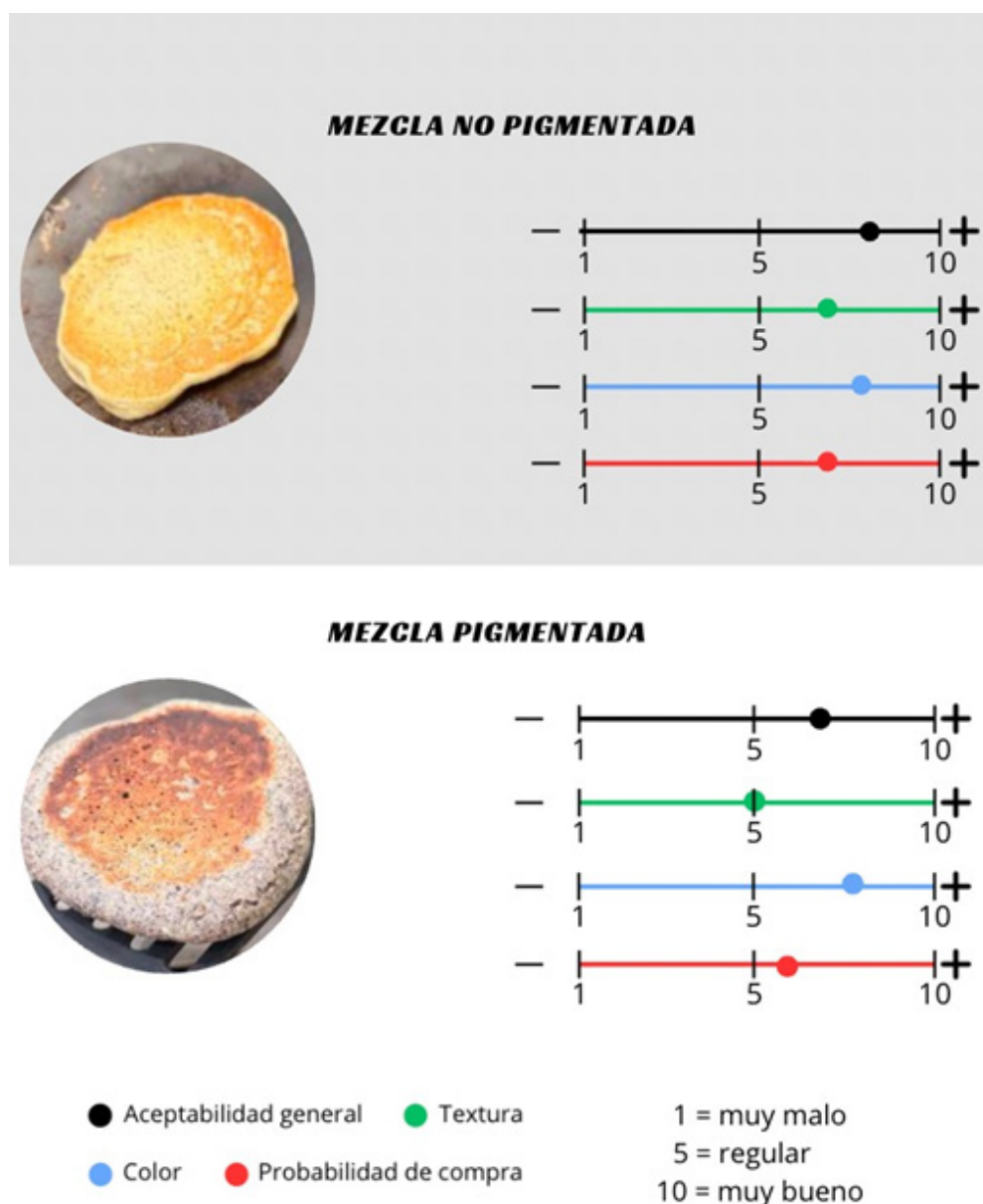
En cuanto a la elasticidad, el pancake elaborado a partir de semillas de milpa no pigmentadas (1.34 mm) presentó el valor más elevado, lo que indica una estructura más flexible y aireada en comparación con las demás muestras. La cohesividad se mantuvo alta en todas las formulaciones (0.87–0.90), lo que refleja una estructura interna resistente a la compresión, probablemente favorecida por la interacción entre proteínas y almidones (Fernández Salvador, 2017).

Respecto a la gomosidad y la masticabilidad, los valores más altos correspondieron al pancake elaborado a partir de la mezcla de semillas de milpa pigmentadas (4.96 N y 5.22 N, respectivamente), lo cual indica una textura más firme y resistente al masticado, relacionada posiblemente con una proporción mayoritaria de fibra insoluble y compuestos fenólicos que refuerzan la matriz proteico-almidonosa (Bekele & Emire, 2023).

En el análisis sensorial con consumidores, los resultados (Figura 7) muestran que el color fue el atributo mejor valorado, con una alta aceptabilidad visual (puntuajes  $> 8$ ). En contraste, la textura obtuvo puntajes de 5 para el *pancake* elaborado con semillas pigmentadas y de 6 para el elaborado con semillas no pigmentadas. Lo anterior puede deberse a una sensación granulosa percibida durante la degustación, asociada al tamaño de partícula resultante del proceso de molienda y tamizado.



La aceptabilidad general obtuvo un puntaje de 8, lo que evidencia una buena aceptación del producto final por parte de los consumidores. Sin embargo, los resultados sugieren una oportunidad de mejora en la homogeneidad y la suavidad de la textura, optimizando etapas críticas del proceso, como la molienda y el control del tamaño de partícula, con el fin de alcanzar una mayor uniformidad sensorial y competitividad del producto en el mercado.



**Figura 7.** Prueba sensorial con consumidores, mezcla de harina de semilla no pigmentada (n=28) y mezcla de harina de semilla pigmentada (n=27)  
**Fuente:** propia



## Conclusiones

El presente estudio presenta una opción para la formulación de harinas funcionales a partir de semillas del sistema milpa y su posible empleo en un modelo de panificación (*pancake*). Con base en los resultados obtenidos, se concluye que las propiedades tecno-funcionales evaluadas, específicamente las capacidades de absorción de agua y aceite, validaron la viabilidad tecnológica de la formulación para su incorporación eficaz en matrices de panificación y repostería. Si bien la evaluación sensorial reflejó una aceptación favorable por parte del consumidor, lo que indica su potencial comercial, los resultados también señalaron la oportunidad de optimizar el proceso de molienda para mejorar atributos organolépticos, como la textura. En conjunto, la utilización de estos cultivos tradicionales no solo representa una alternativa alimentaria sustentable y competitiva, sino que contribuye activamente a la revalorización de las prácticas agrícolas ancestrales del sistema milpa.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran que la investigación se realizó en ausencia de cualquier relación comercial o financiera que pudiera interpretarse como un potencial conflicto de interés.

## Financiamiento

Fondo de Ciencia de Frontera (CF-2023-I-188): “Evaluación del efecto sinérgico de la combinación de semillas criollas del sistema milpa (maíz, frijol, calabaza) sobre marcadores moleculares de obesidad y diabetes tipo 2”.

## Referencias

- Aguilar Castillo, E. R. (2024). *Desarrollo de una galleta con sustitución parcial de harina de maíz y frijol biofortificados* [tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio del Sistema Bibliotecario Universidad de San Carlos de Guatemala <http://www.repositorio.usac.edu.gt/20215/>.
- Alcázar-Valle, M., García-Morales, S., Mojica, L., Morales-Hernández, N., Sánchez-Osorio, E., Flores-López, L., Enríquez-Vara, J. N. & Lugo-Cervantes, E. (2021). Nutritional, Antinutritional Compounds and Nutraceutical Significance of Native Bean Species (*Phaseolus* spp.) of Mexican Cultivars. *Agriculture*, 11, 1031. <https://doi.org/10.3390/agriculture11111031>
- Rosado-Zarrabal, T. L., Micelli-Méndez, I., Gómez-Velasco, D. A. & Ruiz-Mendoza, C.G. (2021). Evaluation of alternative nixtamalization methods. En A. Marroquín J., Olivares, D. Ventura and L. Cruz (Eds.), *Agricultural Sciences and Biotechnology, Handbook ECORFAM* (pp. 147–157). DOI: 10.35429/H.2021.3.147. 157.



- Arendt, E. K. & Zannini, E. (2013). Maizes. En Elke K Arend, Emanuele Zannini (Eds.), *Cereal Grains for the Food and Beverage Industries* (pp. 67-113). <https://doi.org/10.1533/9780857098924.67>
- Bekele, D. W. & Emire, S. A. (2023). Effects of pre-drying treatment and particle sizes on physicochemical and structural properties of pumpkin flour. *Heliyon*, 9, e21609. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21609>
- Bressani, R., Turcios, J. C., Reyes, L. & Mérida, R. (2001). Caracterización física y química de harinas industriales nixtamalizadas de maíz de consumo humano en América Central. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 51(3), 309-313. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222001000300015&lng=es&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222001000300015&lng=es&tlng=es).
- Cconocc Roca, J. (2023). *Estudio del enriquecimiento con harina de semilla de calabaza (Cucurbita ficifolia) sobre la calidad fisicoquímica y sensorial del queque* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio de la UNSCH. <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/dae1c8ba-3c55-4dd9-bd16-3ae907cb554d>
- Chan-Chan, M., Moguel-Ordóñez, Y., Gallegos-Tintoré, S., Chel-Guerrero, L. & Betancur-Ancona, D. (2021). Caracterización química y nutrimental de variedades de maíz (*Zea mays* L.) de alta calidad de proteína (QPM) desarrolladas en Yucatán, México. *Biotecnia*, 23(2), 11-21. <https://doi.org/10.18633/biotecnia.v23i2.1334>
- Chaparro A., S. P., Gil G., J. H. & Aristizábal T., I. D. (2011). Efecto de la hidratación y la cocción en las propiedades físicas y funcionales de la harina de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). VITAE, *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 18 (2), 133-143. <https://www.redalyc.org/pdf/1698/169822670004.pdf>
- Coffmann, C.W. & Garcia, V. V. (1977). Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 12(5), 473-484. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb00132.x>
- Contreras-Jiménez, B. L. (2009). Producción de harina instantánea de maíz nixtamalizado por calentamiento óhmico. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 8(2), 229-239.
- Czajkowska-González, Y. A., Alvarez-Parrilla, E., Martínez-Ruiz, N. R., Vázquez-Flores, A. A., Gaytán-Martínez, M. & de la Rosa L. A. (2021). Addition of phenolic compounds to bread: antioxidant benefits and impact on food structure and sensory characteristics. *Food Production, Processing and Nutrition*, 3(25), 1-12. <https://doi.org/10.1186/s43014-021-00068-8>



- Damián Huato, M. Á. (2023). Milpa, diálogo de saberes y la relación campesino-tierra. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional*, 33(62), e231335. <https://doi.org/10.24836/es.v33i62.1335>
- Drago, S. R., Velasco-González, O. H., Torres, R. L., González, R. J. & Valencia, M. E. (2007). Effect of the extrusion on functional properties and mineral dialyzability from *Phaseolus vulgaris* bean flour. *Plant Foods for Human Nutrition*, 62, 43-48. <https://doi.org/10.1007/s11130-006-0033-5>
- Euan-Pech, E., Chel-Guerrero, L., Rodríguez-Canto, W., Gallegos-Tintoré, S. & Betancur-Ancona, D. (2024). Cassava (*Manihot esculenta* Crantz) and maize (*Zea mays* L.) flour mixtures for the development of healthy snacks. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 37, 100985. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2024.100985>
- Eusebio Quispe, L. M. (2024). *Formulación de una mezcla alimenticia instantánea de cereales y leguminosas enriquecida con harina de atacco (*Amaranthus quitensis*)* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio de la UNSCH <https://repositorio.unsch.edu.pe/handle/20.500.14612/7121>.
- Fernández Salvador, N. (2017). *Propiedades funcionales y químicas de harinas de distintas variedades de trigo sarraceno y TEF* [trabajo fin de máster, Universidad de Valladolid]. Repositorio Universidad de Valladolid <https://uvadoc.uva.es/handle/10324/29440>
- Flores Chaca, E. A. (2022). *Elaboración de galletas dulces con sustitución parcial de harina de trigo con harina de frijol (*Phaseolus vulgaris*)* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria de la Selva] Repositorio UNAS <https://repositorio.unas.edu.pe/items/5b00a226-fc51-485e-91e6-12d6d4e8f37a>
- Flores López, M. M. (2024). *Barras nutricionales de frijol rojo (*Vigna umbellata*) y frijol bayo (*Phaseolus leptostachyus*)* [tesis de licenciatura, Universidad de Ciencias y Artes de Chiapas]. Repositorio UNICACH <https://repositorio.unicach.mx/bitstream/handle/20.500.12753/5278/Melina%20Flores.pdf?sequence=5&isAllowed=y>
- Gallegos-Infante, J.A., García Rivas, M., Chang, S., Manhey, F., Yao, R. F., Reynoso-Camacho, R., Rocha-Guzman, N. E. & González-Laredo, R. F. (2012). Effecto of the addition of common bean flour on the cooking quality and antioxidant characteristics of spaghetti. *Journal of Microbiology Biotechnology and Food Sciences*, 2(2), 730-744.
- González Samayoa, J. M. (2024). *Desarrollo de producto de panificación tipo brownie con sustitución parcial de harina de trigo utilizando frijol (*Phaseolus vulgaris*) variedad ICTA CHORTI fortificado* [tesis de maestría, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Universidad de San Carlos de Guatemala <http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/20212>.



- Gudeta, D., & Damtew, E. (2019). Effect of lime and compost application on the growth and yield of common bean (*Phaseolus vulgaris* L.): A Review. *Advances in Oceanography & Marine Biology*, 1(3), 1-9. DOI: 10.33552/AOMB.2019.01.000512
- Himani Ruwanthika, K.O.G, Mayuri S. Munasinghe, M. L.A. & Upul J. Marapana, R.A. (2023). Overview of Cucurbita spp. and development of value-added products emphasizing its nutritional and chemical composition. *World Journal of Advanced Research and Reviews*, 18(2), 1215–1226. <https://doi.org/10.30574/wjarr.2023.18.20938>
- Lemus-Mondaca, R., Marin, J., Rivas, J., Sanhueza, L., Soto, Y., Vera, N. & Puentes-Díaz, L. (2019). Semillas de calabaza (*Cucurbita maxima*): Una revisión de sus propiedades funcionales. *Revista Chilena de Nutrición*, 46(6), 783–791. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000600783>
- Lozada-Aranda, M., Rojas Barrera, I., Mastretta Yanes, A., Ponce-Mendoza, A., Burgeff, C., Orjuela-R., A. & Oliveros Galindo, O. (2017). Las milpas de México. *Oikos*, 17, 10–12. <https://publicaciones.ecologia.unam.mx/oikos4/images/portadas-pdfs/N17.pdf>
- Marta, H., Febiola, C., Cahyana, Y., Arifin, H. R., Fetriyuna, F. & Sondari, D. (2023). Application of composite flour from indonesian local tubers in gluten-free pancakes. *Foods*, 12(9), 1892. <https://doi.org/10.3390/foods12091892>
- Mathobo, V. M., Silungwe, H., Ramashia, S. E. & Anyasi, T. A. (2021). Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches-a review. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 412-426. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04520-4>
- Mejía-Terán, A., Blanco-Lizarazo, C. M., Leiva Mateus, J. E., Sotelo-Díaz, I., Mejía Terán, D., Geffroy, E. (2024). Pretreatments and particle size on glycemic index and rheological properties of bean flours. *International Journal of Food Science*, 2024, 1–14. <https://doi.org/10.1155/2024/6336837>
- Nergiz, C., & Özcan, M. (1999). Chemical composition of kernel oils from pumpkin seed. *Food/Nahrung*, 45(5), 367–368.
- Osuna-Gallardo, E. I., Cuevas-Rodríguez, E. O., Sepúlveda-García, C. I., Reyes-Moreno, C., León-López, L., Han, R. & Hernández-Álvarez, A. (2023). *ACS Food Science & Technology*, 3(11), 1835-1853. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00416>
- Singh, M., Byars, J. A., & Liu, S. X. (2015). Navy bean flour particle size and protein content affect cake quality. *Journal of Food Science*, 80(6), E1229-E1234. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12869>
- Rodrigues Batista, J. E., Pereira Braga, L., Corrêa de Olivera, R., Silva, E. P. & Damiani, C. (2018). Partial replacement of wheat flour by pumpkin seed flour



- in the production of cupcakes filled with carob. *Food Science and Technology*, 38 (2), 250-254. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.36116>
- Rosado-Zarrabal, T. L., Micelli-Méndez, I., Gómez-Velasco, D. A. & Ruiz-Mendoza, C.G. (2021). Evaluation of alternative nixtamalization methods. En A. Marroquín J., Olivares, D. Ventura and L. Cruz (Eds.), *Agricultural Sciences and Biotechnology, Handbook Ecorfam* (pp. 147–157). DOI: 10.35429/H.2021.3.147. 157.
- Salazar Silvestre, E. (2019). *Optimización por diseño de mezclas de la aceptabilidad de una mezcla alimenticia* [tesis de licenciatura, Universidad Nacional de Huancavelica]. Repositorio UNH <https://hdl.handle.net/20.500.14597/3224>
- Santiago-Ramos, D., Figueroa-Cárdenas J. D., Mariscal-Moreno, R. M., Escalante-Aburto, A., Ponce-García, N. & Véles-Medina, J. J. (2018). Physical and chemical changes undergone by pericarp and endosperm during corn nixtamalization-A review. *Journal of Cereal Science*, 81, 108-117. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2018.04.003>
- Shamah-Levy, T., Cuevas-Nasu, L., Romero-Martínez, M., Gómez-Humaran, I., Ávila-Arcos, M. A. & Rivera, J. A. (2021). Nutrition status of children, teenagers, and adults from national health and nutrition surveys in Mexico from 2006 to 2020. *Frontiers in Nutrition*, 8, 777246. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.777246>
- Torero Cullen, M. (29/08/2025). *We are making progress in the fight against hunger, but not everyone equally*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/americas/opinion/detail/avanzamos-lucha-contra-hambre/en>
- World Health Organization. (2024). *Malnutrition in all its forms*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition>
- World Health Organization. (2025). *Obesity and overweight: Key facts*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/obesity-and-overweight>
- Yousif, E. I., Gadallah, M.G.E., Sorour, A. M. (2012). Physico-chemical and rheological properties of modified corn starches and its effect on noodle quality. *Annals of Agricultural Science*, 57(1), 19-27. DOI:10.1016/j.aos.2012.03.008
- Zárate-Ortiz, A. G., Melse-Boonstra, A., Rodríguez-Ramírez, S., Hernández-Cordero, S. & Feskens, E. J. M. (2019) Dietary patterns and double burden of malnutrition in Mexican adolescents: Results from ENSANUT-2006. *Nutrients*, 11(11), 2753. <https://doi.org/10.3390/nu11112753>