

Análisis del perfil proximal y proteico de una especie de frijol subutilizada de México: *Phaseolus coccineus* L.

Eduardo Pizano-Galvez¹, Montserrat Alcázar-Valle¹, Jorge Luis Coronado-Cáceres¹, Luis Mojica¹ y Eugenia Lugo-Cervantes^{1*}

¹Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Unidad de Tecnología Alimentaria, Zapopan, México.

*Autor de correspondencia: elugo@ciatej.mx

Resumen

Phaseolus coccineus L. (ayocote) es una especie de frijol originaria de México con alto potencial nutricional. El objetivo del presente trabajo fue la evaluación del perfil proximal y proteico de una variedad de frijol ayocote del estado de Puebla. Se llevó a cabo el análisis proximal del frijol, así como la determinación de su perfil proteico de acuerdo con su solubilidad. El análisis proximal mostró que la variedad de frijol es una buena fuente de proteína (20.30%) con un perfil proteico balanceado entre las fracciones albúmina (38.58%), globulina (22.29%) y glutelina (38.63%). De acuerdo a los resultados del estudio se concluye que el frijol ayocote tiene potencial para ser una fuente nutricional comparable a otras especies de frijol y otras legumbres como la soya, el garbanzo o el chícharo con mayor índice de investigación y consumo, lo que alienta a robustecer la información disponible sobre la calidad proteica y nutricional de esta especie de frijol.

Introducción

Las legumbres son un grupo de alimentos que desempeñan un papel clave en la alimentación humana y representan una importante fuente de proteínas, carbohidratos, vitaminas y minerales. Su consumo a nivel mundial está relacionado al mejoramiento nutricional, particularmente en regiones donde la proteína animal no es de fácil acceso (Hughes et al., 2022). En México, las legumbres, especialmente el frijol, son parte fundamental de la alimentación básica desde tiempos precolombinos (Contreras et al., 2023). Dentro de las aproximadamente 65 especies de frijol existentes en México, se encuentra *Phaseolus coccineus* L, comúnmente conocida como frijol ayocote (Alcázar-Valle et al., 2021).

Enfoques Transdisciplinarios:
Ciencia y Sociedad, 3(1), 179-189.
ISSN. 3061-709X. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14712595>

Recibido: 04 de octubre 2024
Revisado: 26 de noviembre 2024
Aceptado: 23 de diciembre 2024
Publicado: 21 de enero 2025



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/>



El frijol ayocote, también conocido como patol, es una especie cuyo centro de origen y domesticación rastreado mediante evidencias lingüísticas, geográficas y arqueológicas desde una planta silvestre en las montañas mexicanas, específicamente en las regiones altas de Puebla, Oaxaca y Chiapas (Delgado Salinas, 1988; Vargas-Vázquez et al., 2011). Actualmente se reconocen dos subespecies dentro de esta especie, los ayocotes (*P. coccineus* subsp. *coccineus*); los cuales, a su vez, se subdividen en dos formas: los mexicanos o ayocotes y los guatemaltecos o botiles; y los piloy (*P. coccineus* subsp. *darwinianus*), ambas caracterizadas por su adaptabilidad a los factores climáticos y condiciones adversas (Ruiz-Salazar et al., 2021). Sin embargo, es considerada una especie de frijol subutilizada ya que su consumo es reducido y se limita solo a las regiones donde es cultivado (Alvarado-López et al., 2019).

El estudio de las legumbres ha demostrado que su ingesta regular es un factor para el mejoramiento de la salud, atribuido a su alto contenido proteico y alto valor nutritivo en general (Polak et al., 2015). No obstante, los estudios relacionados al frijol ayocote aún son escasos, particularmente respecto a su perfil proteico. El frijol ayocote cuenta con el potencial para ser una fuente importante de proteínas y nutrientes. Además, el fraccionamiento de sus proteínas puede aportar a la comprensión de sus aspectos funcionales y nutricionales (Carbonaro et al., 2015).

El fraccionamiento de proteínas es crucial para evaluar la calidad nutricional, biofuncional y tecnofuncional de la proteína de los alimentos y con ello evaluar sus aplicaciones en la elaboración de productos alimentarios (Padilla et al., 2010). Por lo tanto, el presente artículo tuvo como objetivo analizar la composición bromatológica, así como fraccionar la proteína soluble de una variedad de frijol ayocote proveniente del estado de Puebla para permitir un mejor conocimiento de su composición proximal, proporcionando bases para la promoción del estudio de sus características nutricionales, biofuncionales y tecnofuncionales.

Materiales y Métodos

Materia prima

El frijol ayocote fue recolectado en el municipio de San Juan Pancoac, Huejotzingo, Puebla durante la cosecha del segundo semestre del año 2023. Posteriormente el frijol se descascarilló y el cotiledón se pulverizó y tamizó en malla 60. La harina obtenida fue almacenada a 4 °C hasta el momento de su análisis.

Análisis de la composición proximal

El análisis proximal de las semillas fue realizado conforme a los métodos internacionales oficiales de análisis AOAC y establecido en las normas mexicanas: proteína



(NMX-F-608-NORMEX-2021), humedad (NMX-F-083-1986), cenizas (NMX-F-607-NORMEX-2020), grasas (NOM-086-SSA1-1994), fibra cruda (NMX-F-613-NORMEX-2017) y carbohidratos totales por diferencia.

Fraccionamiento de proteínas

El fraccionamiento de la proteína soluble del frijol se llevó a cabo mediante el método de solubilidad de Osborne y Mendel aplicado por Yang et al. (2024) con algunas modificaciones. Brevemente, los búferes se agregaron en proporción 1:10 (p/v) secuencialmente para extraer cada fracción. En orden, agua (albúminas), NaCl 1 M (globulinas), etanol al 70% (prolaminas) y NaOH 0.05 M (glutelinas). La muestra fue sometida a agitación magnética a 25 °C durante 1 h. Posteriormente, se centrifugó a 4 °C durante 40 minutos a 3430 g y el sobrenadante fue recolectado y almacenado en congelación. Se inició con una muestra de harina y posteriormente se resuspendió el precipitado en el búfer siguiente.

Electroforesis en gel de poliacrilamida bajo condiciones desnaturalizantes (SDS-page)

La electroforesis en gel de poliacrilamida de las fracciones proteicas del frijol se llevó a cabo de acuerdo al método reportado por Laemmli (1970) en el sistema Mini-PROTEAN (Bio-Rad, Hercules, CA, USA) usando un gel al 12% de acrilamida/bis. Se aplicó el equivalente a 15 µg de muestra en condiciones reductoras (β -mercaptoetanol al 5%) y no reductoras (ausencia de β -mercaptoetanol) por pocillo. Las muestras migraron en condiciones de 60 V durante 30 min para la región concentradora y 80 V hasta el final de la migración. Se usó SimplyBlueMT SafeStain (Cat. No. LC6060, ThermoFisher, Walthman, MA, USA) para visualizar las bandas. El peso molecular de las proteínas fue determinado por el estándar de peso molecular Precision Plus Protein Dual Color Standards (10 a 250 kDa) (#1610374, Bio-Rad, Hercules, CA, USA). Las imágenes fueron capturadas con el equipo UVP ChemStudio Imaging System (ChemStudio, Analytik Jena, Jena, Turingia, DEU).

Análisis estadístico

Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($P < 0.05$) con el uso del software STATGRAPHICS Centurion 10 versión 18.1.16 (Statgraphics Technologies Inc., The Plains, VA, USA). Los resultados fueron reportados como valores promedio \pm desviación estándar con el uso de triplicados independientes. Las figuras fueron hechas con el uso del software GraphPad Prism versión 9.4.1 (GraphPad Software, San Diego, CA, USA).



Resultados y Discusión

Composición proximal

Los carbohidratos representaron el macronutriente predominante en el frijol ($64.64 \pm 0.00\%$ en peso) (Figura 1). Seguido por el contenido de proteína que representó el $20.30 \pm 0.06\%$ del peso total del frijol. Además, destacó el bajo contenido de grasa ($0.84 \pm 0.01\%$ en peso).

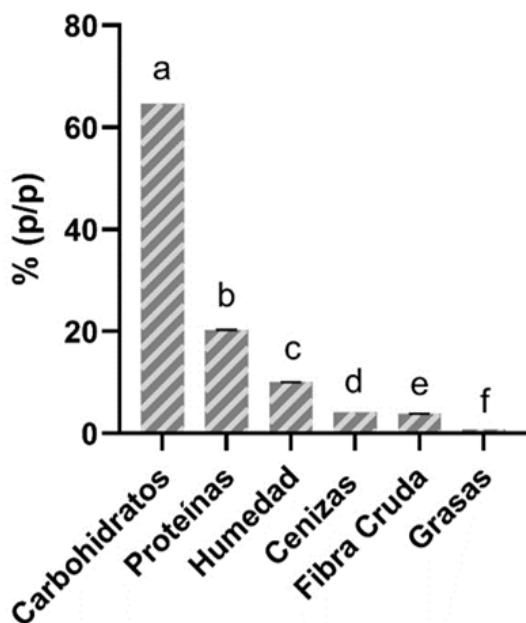


Figura 1. Composición proximal de frijol ayocote proveniente de Puebla. Resultados presentados como medias \pm desviación estándar de porcentaje en peso
Fuente: elaboración propia

El contenido proteico es el atributo de mayor interés en las legumbres debido a las implicaciones tecnofuncionales que tienen en el desarrollo de nuevos productos, así como su importancia nutricional (Huamaní-Perales et al., 2024; Prandi et al., 2021). De acuerdo a la literatura, el contenido proteico del frijol ayocote oscila entre el 16% y 26% en peso (p/p) (Redondo-Cuenca et al., 2022). El resultado del presente estudio fue mayor al reportado por Alcázar-Valle et al. (2021), quienes reportaron una concentración promedio de proteína del $17.28 \pm 2.06\%$ (p/p) en muestras de frijol ayocote recolectadas de la región pacífico sur de México y las reportadas por Alvarado-López et al. (2019), quienes reportaron la concentración de proteína en cuatro variedades de frijol ayocote: negro ($18.93 \pm 0.54\%$ p/p), morado ($18.53 \pm 1.17\%$ p/p), café ($18.07 \pm 0.91\%$ p/p) y blanco ($18.25 \pm 0.76\%$ p/p). Sin embargo, Redondo-Cuenca et al. (2022) reportaron una concentración de proteína superior en la variedad judión ($22.66 \pm 0.41\%$ p/p).



En cuanto al resto de grupos de macro nutrientes, Osuna-Gallardo et al. (2023) reportaron valores superiores de carbohidratos ($73.93 \pm 0.72\%$ p/p), grasas ($2.78 \pm 0.31\%$ p/p) y cenizas ($4.450.07\%$ p/p). En contraste con algunos de los resultados reportados por Vázquez Mendoza (2021), quien reportó valores inferiores a los de este estudio en el contenido de carbohidratos ($58.70 \pm 0.26\%$ p/p) y cenizas ($3.59 \pm 0.05\%$ p/p), sin embargo, un mayor contenido de grasas ($3.66 \pm 0.14\%$ p/p) y fibra cruda ($4.94 \pm 0.59\%$ p/p). En general, los datos resultantes de este estudio y los reportados por otros autores son muy variables a pesar de ser muestras de la misma especie. Estas variaciones pueden ser atribuidas a factores como las prácticas de cultivo, condiciones ambientales, localización geográfica, uso de fertilizantes e incluso variaciones genéticas pueden afectar las características nutricionales entre las variedades de frijol ayocote (Bernardino-Nicanor et al., 2017; Ruíz-Salazar et al., 2021).

Fracciones proteicas

En el fraccionamiento de proteína soluble, la albúmina y glutelina ($38.58 \pm 2.89\%$ y $38.63 \pm 1.45\%$, respectivamente) representaron los grupos mayoritarios, seguido por la globulina ($22.29 \pm 5.26\%$) y la presencia de trazas de prolamina ($0.50 \pm 0.19\%$) (Tabla 1). Estos resultados concuerdan con los obtenidos por Raya-Pérez et al. (2014), quienes reportaron la predominancia de albúminas en la variedad de frijol común denominada bayo berrendo (53.49%), mientras que en la variedad denominada patzcuareño reportaron la predominancia de globulinas (55.74%). En el mismo sentido, Yang et al. (2024) también reportaron la predominancia de albúminas (56%). Sánchez-Arteaga et al. (2015) presentaron un extenso reporte de las fracciones proteicas de distintas variedades de frijol común, en donde destacan las fracciones albúmina (32.90 – 43.80%) y glutelina (24.70 – 43.30%) como las predominantes entre las variedades. No obstante, todos los trabajos convergieron en la casi nula presencia de prolaminas. Los datos sustentan la clasificación del frijol como una semilla libre de gluten puesto que, en este tipo de proteínas, las prolaminas y glutelinas son esenciales en su estructura y la ausencia de una de ellas evita la formación de gluten (Tuna et al., 2024). El contraste de los resultados entre los estudios presentados es explicado, al igual que las variaciones en el perfil proximal, por factores ambientales, condiciones de cultivo o variaciones genéticas y en este caso también la diferencia entre especies (Perazzini et al., 2008) ya que no fue posible establecer un punto de comparación más estrecho por la falta de información acerca de las fracciones proteicas del frijol ayocote.

El estudio de los grupos de proteínas, albúminas, globulinas, prolaminas y glutelinas, es un conocimiento necesario y de gran importancia para determinar y optimizar sus usos tecnofuncionales en el diseño de nuevos productos alimenticios. Puesto que son responsables de características como la capacidad emulsionante,



espumante, gelificante y de retención de agua en la composición de alimentos funcionales y estructurados, como sustitutos de carne, bebidas proteicas y productos de panificación. Su amplio rango de solubilidad y estabilidad permite la creación de diferentes aplicaciones para mejorar la textura, la estabilidad y la nutrición de muchos productos a los que sirve; por lo tanto, el estudio de su composición y proporciones amplía el rango donde se puede aplicar la innovación en el sector alimentario (Huamaní-Perales et al., 2024).

Tabla 1. Comparación de las fracciones de proteína soluble de una variedad de frijol ayocote endémica de México y variedades de frijol común

Fracción	Ayocote Puebla		(Raya-Pérez et al., 2014)	(Sánchez-Arteaga et al., 2015)	(Yang et al., 2024)
	mg/g	%	%	%	%
Albúmina	31.65±2.37a	38.58	30.90 – 53.49	32.80 – 43.80	56.20
Globulinas	18.29±4.32b	22.29	19.80 – 55.74	23.10 – 41.50	21.90
Prolaminas	0.41±0.16c	0.50	5.88 – 6.19	0.60 – 1.40	0.65
Glutelinas	31.69±1.19a	38.63	7.08 – 20.80	24.70 – 43.30	15.70

Nota. Los resultados se expresan como media ± desviación estándar. Letras distintas expresan diferencias estadísticas entre filas de acuerdo a la prueba de Tukey ($P < 0.05$). La columna mg/g representa la concentración de proteína respecto al peso de la harina. La columna % representa el porcentaje respecto al total de proteína soluble.

Perfil SDS-PAGE

El perfil SDS-PAGE (Figura 2) evidenció la presencia de bandas desde 15 a 100 kDa en condiciones reductoras y no reductoras. Se observaron bandas de 75, 55, 40, 20 y 15 kDa en el carril correspondiente a las albúminas (AlbPU) y bandas de 75, 55, 40, 30, 17 y 15 kDa en el carril correspondiente a las globulinas (GloPU), mientras que en el carril perteneciente a las glutelinas (GluPU) se identificaron bandas de 100, 40, 30 y 20 kDa mucho más tenues comparado al resto de fracciones. La concentración de la fracción prolamina fue insuficiente para cargar la muestra en el gel. Se observó la presencia de puentes disulfuro en los carriles de AlbPU y GloPU evidenciado por la aparición de bandas de 55 kDa en condiciones reductoras, mismas que estuvieron ausentes en condiciones no reductoras. En el mismo sentido, se identificó la presencia de las subunidades ácida (30 kDa) y básica (20 kDa) de las globulinas 11S (San Pablo-Osorio et al., 2019) en condiciones reductoras.

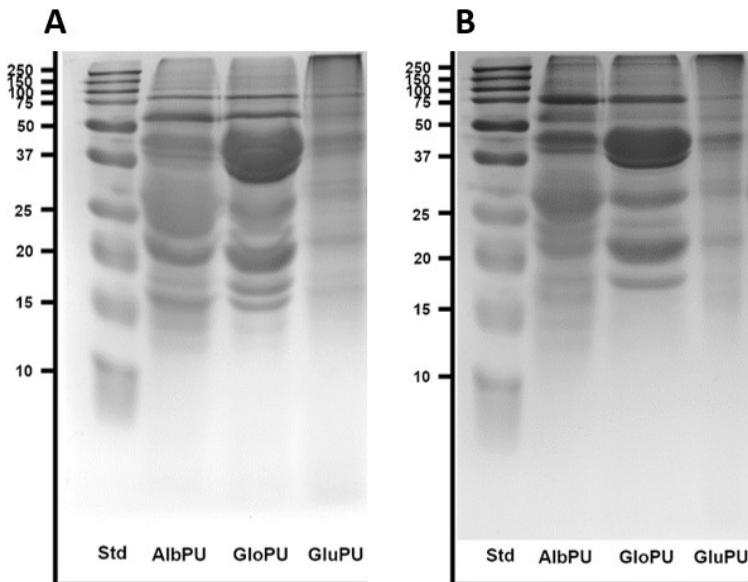


Figura 2. Perfil SDS-PAGE de las albúminas (AlbPU), globulinas (GloPU) y glutelinas (GluPU) de la proteína de frijol ayocote provenientes de Puebla en condiciones reductoras (A) y no reductoras (B). Std: Estándar de pesos moleculares (10-250 kDa)

Fuente: elaboración propia

Conclusiones

El presente trabajo evidenció que el frijol ayocote (*Phaseolus coccineus* L.) es una fuente potencial de proteínas ($20.3 \pm 0.06\%$), destacando la proteína soluble del tipo albúmina ($38.58 \pm 2.89\%$) y globulina ($22.29 \pm 5.26\%$). Además de ser un alimento considerado libre de gluten caracterizado por la ausencia de prolaminas ($0.50 \pm 0.19\%$), con un bajo contenido de grasas ($0.84 \pm 0.01\%$) y una buena fuente de carbohidratos ($64.64 \pm 0.00\%$). Estas características colocan al frijol ayocote como un alimento con perfil proximal comparable con otro tipo de legumbres como la soya, el garbanzo u otras especies de frijol. Los resultados de este estudio proporcionan una base para el estudio de las características nutricionales y tecnofuncionales que influyen directamente en el desarrollo de alimentos, así como la promoción del cultivo y consumo de esta especie subutilizada originaria de México.

Perspectivas

Este artículo propone diversas proyecciones para la investigación del frijol ayocote. Se plantea el estudio integral del perfil nutricional del frijol, comprendiendo la cuantificación de atributos importantes como el contenido de fibra dietaria, fibra soluble y fibra insoluble, la caracterización de carbohidratos, el perfil de minerales y vitaminas, así como el perfil aminoacídico de las proteínas y el estudio de su digestibilidad. Asimismo, el estudio de la sinergia entre los grupos de nutrientes y el impacto de estos en las características tecnofuncionales de la harina del frijol y su



impacto en su incorporación al desarrollo de productos. Así como el estudio de sus propiedades biofuncionales para la prevención de enfermedades no transmisibles.

Conflictos de interés

Los autores declaran la no existencia de conflicto de intereses financieros o personales que pudieron haber influido en la realización de este estudio o en la interpretación de sus resultados, salvo el interés del desarrollo científico.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por el otorgamiento de la beca de posgrado (CVU:1260931). Al Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ) por proveer los recursos necesarios para el trabajo. A la doctora Soledad García Morales por proporcionar las muestras de frijol ayocote con las que se llevó a cabo este estudio.

Financiamiento

El presente estudio fue financiado por CONAHCYT a través del fondo FORDECYT 292474-2017.

Referencias

- 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 (Switzerland)*, 11(11), 1031. <https://doi.org/10.3390/agriculture1111031>
- Alvarado-López, A. N., Gómez-Oliván, L. M., Heredia, J. B., Baeza-Jiménez, R., García-Galindo, H. S., & Lopez-Martinez, L. X. (2019). Nutritional and bioactive characteristics of ayocote bean (*Phaseolus coccineus* L.): An underutilized legume harvested in Mexico. *CYTÁ - Journal of Food*, 17(1), 199–206. <https://doi.org/10.1080/19476337.2019.1571530>
- Bernardino-Nicanor, A., Acosta-García, G., Güemes-Vera, N., Montañez-Soto, J. L., de los Ángeles Vivar-Vera, M., & González-Cruz, L. (2017). Fourier transform infrared and Raman spectroscopic study of the effect of the thermal treatment and extraction methods on the characteristics of ayocote bean starches. *Journal of Food Science and Technology*, 54(4), 933–943. <https://doi.org/10.1007/s13197-016-2370-1>
- Carbonaro, M., Maselli, P., & Nucara, A. (2015). Structural aspects of legume proteins and nutraceutical properties. *Food Research International*, 76, 19–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.007>

- Contreras, J., Alcázar-Valle, M., Lugo-Cervantes, E., Luna-Vital, D. A., & Mojica, L. (2023). Mexican native black bean anthocyanin-rich extracts modulate biological markers associated with inflammation. *Pharmaceuticals*, 16(6), 874. <https://doi.org/10.3390/ph16060874>
- Delgado Salinas, A. (1988). Variation, taxonomy, domestication, and germplasm potentialities in *Phaseolus coccineus*. En P. Gepts (ed.), *Genetic Resources of Phaseolus Beans: Their maintenance, domestication, evolution and utilization* (pp. 441–463). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-94-009-2786-5_18
- Huamaní-Perales, C., Vidaurre-Ruiz, J., Salas-Valerio, W., Cabezas, D. M., & Repetto-Carrasco-Valencia, R. (2024). A review of techno-functional properties of legume proteins and their potential for development of new products. *European Food Research and Technology*, 250, 2069–2092. <https://doi.org/10.1007/s00217-024-04536-6>
- Hughes, J., Pearson, E., & Grafenauer, S. (2022). Legumes—A comprehensive exploration of global food-based dietary guidelines and consumption. *Nutrients*, 14(15), 3080. <https://doi.org/10.3390/nu14153080>
- Laemmli, U. K. (1970). Cleavage of structural proteins during the assembly of the head of bacteriophage T4. *Nature*, 227(5259), 680–685. <https://doi.org/10.1038/227680a0>
- Osuna-Gallardo, E. I., Cuevas-Rodríguez, E. O., Sepúlveda-García, C. I., Reyes-Moreno, C., León-López, L., Han, R., & Hernández-Álvarez, A. J. (2023). Impact of cooking and extrusion processing on nutritional, antinutritional, and techno-functional characteristics of indigenous bean (*Phaseolus coccineus*). *ACS Food Science & Technology*, 3(11), 1835–1853. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00416>
- Padilla, F. C., Guédez, T., Alfaro, M. J., Regnault, M., & Rincón C, A. M. (2010). Fraccionamiento y caracterización de las proteínas solubles de la harina de nuez de Barinas (*Caryodendron orinocense* K.). *Revista Del Instituto Nacional de Higiene Rafael Rangel*, 41(1), 38–42. Recuperado de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04772010000100006&lng=es&tlang=es
- Perazzini, R., Leonardi, D., Ruggeri, S., Alesiani, D., D'Arcangelo, G., & Canini, A. (2008). Characterization of *Phaseolus vulgaris* L. landraces cultivated in central Italy. *Plant Foods for Human Nutrition*, 63(4), 211–218. <https://doi.org/10.1007/s11130-008-0095-7>
- Polak, R., Phillips, E. M., & Campbell, A. (2015). Legumes: Health benefits and culinary approaches to increase intake. *Clinical Diabetes*, 33(4), 198–205. <https://doi.org/10.2337/diaclin.33.4.198>
- Prandi, B., Zurlini, C., Maria, C. I., Cutroneo, S., Di Massimo, M., Bondi, M., Brutti, A., Sforza, S., & Tedeschi, T. (2021). Targeting the nutritional value of proteins



- from legumes by-products through mild extraction technologies. *Frontiers in Nutrition*, 8. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.695793>
- Raya-Pérez, J. C., Gutiérrez-Benicio, G. M., Ramírez Pimentel, J. G., Covarrubias-Prieto, J., & Aguirre-Mancilla, C. L. (2014). Caracterización de proteínas y contenido mineral de dos variedades nativas de frijol de México. *Agronomía Mesoamericana*, 25(1), 1–11. <https://www.redalyc.org/journal/437/43730495001/movil/>
- Redondo-Cuenca, A., Pedrosa, M. M., Sanz, M. D. T., Alvarado López, A. N., & García-Alonso, A. (2022). Influence of high-pressure processing on nutritional composition and bioactive compounds of *Phaseolus coccineus* L. *Journal of Food Science*, 87(12), 5289–5302. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16361>
- Ruiz-Salazar, R., Hernández-Delgado, S., Vargas-Vázquez, M. L. P., & Mayek-Pérez, N. (2021). Current status of the genetic resources of *Phaseolus coccineus* (Fabaceae) in Mexico. *Boletín de La Sociedad Argentina de Botánica*, 56(3), 289–305. <https://doi.org/10.31055/1851.2372.v56.n3.32297>
- San Pablo-Osorio, B., Mojica, L., & Urías-Silvas, J. E. (2019). Chia seed (*Sahvia hispanica* L.) pepsin hydrolysates inhibit angiotensin-converting enzyme by interacting with its catalytic site. *Journal of Food Science*, 84(5), 1170–1179. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14503>
- Sánchez-Arteaga, H. M., Urías-Silvas, J. E., Espinosa-Andrews, H., & García-Márquez, E. (2015). Effect of chemical composition and thermal properties on the cooking quality of common beans (*Phaseolus vulgaris*). *CYTA - Journal of Food*, 13(3), 385–391. <https://doi.org/10.1080/19476337.2014.988182>
- Tuna, A., Ortiz-Solà, J., López-Mas, L., Baser, F., Kallas, Z., Aguiló-Aguayo, I., Gulec, S., Ozen, B., & Tokatlı, F. (2024). Development of a yeast-free bread using legume and nut flours in a gluten-free flour: Techno-functional characteristics and sensory evaluation. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(6), 3999–4010. <https://doi.org/10.1111/ijfs.17153>
- Vargas-Vázquez, P., Muruaga-Martínez, J. S., Martínez-Villarreal, S. E., Ruiz-Salazar, R., Hernández-Delgado, S., & Mayek-Pérez, N. (2011). Diversidad morfológica del frijol ayocote del Carso Huasteco de México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 82(3), 767–775. <https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2011.3.698>
- Vázquez Mendoza, M. (2021). *Análisis de las propiedades fisicoquímicas de tostadas de maíz y frijol ayocote (Phaseolus coccineus)*. Universidad Politécnica de Francisco I. Madero.
- Vázquez-Herrera, P., & Taboada-Gaytán, O. R. (2023). Prolonged storage affects the nutritional quality and cooking time of ayocote beans. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 14(29), e3542. <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i29.3542>
- Yang, J. S., Dias, F. F. G., Pham, T. T. K., Barile, D., & de Moura Bell, J. M. L. N. (2024). A sequential fractionation approach to understanding the physico-



chemical and functional properties of aqueous and enzyme-assisted aqueous extracted black bean proteins. *Food Hydrocolloids*, 146, 109250. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2023.109250>

