

Composición y propiedades funcionales de proteínas de legumbres como alternativa para producir tofu

Composition and functional properties of legume proteins as an alternative for tofu production

Lucero Ávalos Flores¹, Luis Alfonso Mojica Contreras¹ y Judith Esmeralda Urías-Silvas^{1*}

¹ *Tecnología Alimentaria, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco (CIATEJ), Camino Arenero #1227, Col. El Bajío, 45019 Zapopan, Jalisco. México.*

*Autor de correspondencia: *Judith Esmeralda Urías-Silvas, jurias@ciatej.mx*

Palabras clave:

harina de legumbres, gelificación, sustituto de soya, textura

Keywords:

legume flour, gelation, soy alternative, texture

Recibido: 24 de marzo 2025
Revisado: 22 de mayo 2025
Aceptado: 03 de junio 2025
Publicado: 21 de julio 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/>

Resumen

El presente artículo es una revisión de las propiedades nutricionales y los perfiles de textura del tofu elaborado a partir de legumbres y cereales alternativas a la soya, enfocándose en atributos como la dureza, cohesividad, elasticidad y mediciones de color. El creciente interés en estas alternativas se debe a la demanda de productos libres de alérgenos y a las preocupaciones sobre el uso de soya genéticamente modificada. Las harinas de legumbres, como haba, lenteja, garbanzo y chícharo, son fuentes proteicas con aplicaciones tecnofuncionales. Estas harinas no solo aportan nutrientes esenciales, como aminoácidos y minerales, sino que también influyen en la formación de estructuras tipo gel, necesarias para lograr la textura característica del tofu. La lenteja destaca por su contenido en proteínas, aminoácidos esenciales y antioxidantes. Los garbanzos contribuyen a una textura más firme del tofu; sin embargo, los chícharos no logran proporcionar la consistencia deseada debido a su menor contenido de enlaces disulfuro, los cuales son cruciales para una adecuada formación del gel. Los hallazgos permiten comprender los beneficios nutricionales y tecnológicos del uso de harinas de legumbres en la producción de tofu.

Abstrac

This article reviews the nutritional properties and textural profiles of tofu made from legumes and cereals alternatives to soy, focusing on attributes like hardness, cohesiveness, elasticity, and color measurements. The growing interest in these alternatives is driven by the demand for allergen-free products and concerns the use of genetically modified soybeans. Legume flours such as fava bean, lentil, chickpea, and pea are rich protein sources with valuable techno-functional properties. These flours not only provide essential nutrients, such as amino acids and minerals, but also play a role in forming gel-like structures that are crucial for achieving the characteristic texture of tofu. Lentils stand out for their high protein content, essential amino acids, and antioxidants. Chickpeas contribute to a firmer tofu texture; however, peas fall short in providing the desired consistency due to their lower content of disulfide bonds, which are crucial for proper gel formation. These findings shed light on the nutritional and technological advantages of using legume flour in tofu production.



Introducción

La revisión de literatura incluida en este trabajo fue de tipo no sistemática, centrada en artículos científicos relevantes que abordan la producción de tofu a partir de legumbres distintas a la soya, así como en estudios sobre sus propiedades nutricionales y funcionales. Los documentos analizados fueron publicados en inglés, cubriendo el periodo entre 2012 y 2025. Además, se incorporó un artículo fuera de ese rango temporal (2007) por su relevancia metodológica.

En la actualidad, existe una tendencia creciente hacia alternativas de origen vegetal para evitar el consumo de productos animales. Esta tendencia está impulsada por una serie de factores como las serias preocupaciones morales, ambientales y de salud (Martínez et al., 2021), entre estos motivos también se encuentra el rechazo al consumo de soya debido a su potencial alergénico y a su frecuente asociación con organismos genéticamente modificados (OGM). La preferencia de los consumidores por evitar los productos animales ha llevado a avances significativos en las dietas vegetarianas y veganas, así como en el desarrollo de nuevas opciones de alimentos de origen vegetal libres de modificaciones genéticas (Fuentes Cuiñas et al., 2020). Entre ellos el tofu, que ha ganado popularidad entre los consumidores que buscan opciones más sostenibles y éticas. El tofu es un gel de proteínas vegetales derivado de la soya, cuya formación depende de una serie de transformaciones estructurales en las proteínas durante el procesamiento. Factores como la variedad de la soya, el tipo y concentración del coagulante, y las condiciones de almacenamiento influyen significativamente en la desnaturalización, agregación y gelificación de las proteínas, lo que a su vez determina la textura, rendimiento y calidad del tofu final (Guan et al., 2021)

Tradicionalmente elaborado a partir de soya, el tofu ha comenzado a producirse también a partir de otras legumbres como chícharo, haba, lenteja y garbanzo, en respuesta a la necesidad de diversificar las fuentes vegetales y evitar ingredientes alérgenos o modificados genéticamente (Jeewanthi y Paik, 2018; Wang y Murphy, 1996). Estas legumbres, además de ser ampliamente utilizadas en bebidas, análogos del queso y productos fermentados, ofrecen un alto contenido proteico, bajo en grasa, y son ricas en carbohidratos complejos como fibra soluble e insoluble, oligosacáridos y almidones de digestión lenta (Ahnén et al., 2019; Zamora & Barboza, 2020). Por ello, actualmente se exploran como fuentes prometedoras de proteína vegetal de alta calidad para el desarrollo de alternativas al tofu (Cheng et al., 2019; Saperas et al., 2023).

Además de su valor proteico y de carbohidratos, estas legumbres aportan minerales esenciales como hierro, calcio, zinc, magnesio y potasio, los cuales enriquecen el perfil nutricional del tofu derivado de estas fuentes vegetales (Didinger & Thompson, 2021). Sin embargo, también contienen compuestos antinutricionales



como fitatos, taninos y lectinas, que pueden disminuir la biodisponibilidad de algunos micronutrientes si no se procesan adecuadamente (Samtiya et al., 2020). En cuanto a su contenido lipídico, las legumbres presentan bajos niveles de grasa (generalmente entre 1 y 6 %, dependiendo de la especie), predominando los ácidos grasos insaturados, como el ácido linoleico y el ácido oleico, con potenciales beneficios para la salud cardiovascular (Jukanti et al., 2012).

De igual forma, es importante destacar que la alergia a los compuestos de la soya, causada por la presencia de proteínas como β conglucina y glicinina, responsables de reacciones alérgicas severas en individuos sensibles (Lisiecka, 2025), además, el uso generalizado de soya transgénica resistente al glifosato ha levantado inquietudes recientes debido a que el glifosato se ha asociado con estrés oxidativo, daño en el ADN y un mayor riesgo potencial de hematopatías (Benbrook, 2025; Jedrusek-Golinska et al., 2019; Matsuo et al., 2020; Wiederstein et al., 2023). Esta preocupación, junto con el uso dominante de soya modificada genéticamente, ha sido el resultado de una creciente demanda por parte de los consumidores de alternativas al tofu que hoy en día, el tofu es uno de los principales productos derivados de soya. Según datos de Straits Research, (2023), el mercado global del tofu tuvo un tamaño de USD 1.75 mil millones en el año base 2023 y se espera que alcance los USD 2.77 mil millones para 2032, con una tasa de crecimiento anual compuesta (CAGR) del 5.25 % durante el periodo de pronóstico 2024–2032. Al elegir legumbres que no tienen una alta alergenicidad, los fabricantes promueven la preferencia de los consumidores, ya que están aumentando la demanda de productos que no solo estén libres de alérgenos, sino que también no provengan de fuentes transgénicas. Esto está motivado por razones de salud y un deseo de productos naturales. Aunque las legumbres suelen considerarse sostenibles, su cultivo también puede implicar desafíos como el uso de pesticidas y la erosión del suelo, el promover prácticas agrícolas responsables es clave para garantizar su producción sustentable (Foyer et al., 2016).

El presente artículo es una revisión y un análisis de trabajos relacionados con la producción de tofu a partir de legumbres alternativas a la soya, en vista de su valor nutricional, beneficios dietéticos y potencial para satisfacer la demanda de alimentos de consumidores con mayor conciencia de la salud. Por lo tanto, se justifica la necesidad de que se desarrollen alimentos de alta calidad que satisfaga no solo las preferencias de los consumidores, sino que también tenga mejores propiedades nutricionales y sensoriales.



Historia y características del tofu

El tofu es un alimento saludable de origen asiático que se prepara coagulando la bebida de soya (molienda de soya con agua) y que hoy en día se consume en todo el mundo. El tofu se empezó a producir después de la dinastía Han, hace más de 2000 años, y se convirtió en un alimento conocido, primero en la cultura china, luego en la japonesa durante el periodo Edo (1603-1868) y, posteriormente, en las distintas regiones del sudeste asiático (Zheng et al., 2020).

El tratamiento de las legumbres es fundamental para la elaboración de alimentos, como el tradicional tofu de soya. El procedimiento de elaboración del tofu consiste en utilizar granos o semillas de soya, los cuales se someten a remojo, molienda, filtración ebullición, coagulación, moldeado y prensado para finalmente obtener un tofu (Guan et al., 2021).

Las legumbres han sido esenciales en la dieta humana durante años debido a su valor nutricional y los beneficios asociados a la salud. Sin embargo, la soya no está excluida en las dietas o productos a pesar de la presencia de aglutinina, antinutriente que reduce la capacidad del organismo para absorber y utilizar nutrientes esenciales, lo cual afecta negativamente el crecimiento, causa cambios patológicos en los intestinos y proporciona un deterioro en la capacidad del sistema inmune para proteger al organismo (Benayad y Aboussaleh, 2021). La creciente demanda de proteínas de origen vegetal, impulsada por el interés de los consumidores en incluir en la dieta alimentos más saludables, ha reforzado la popularidad del tofu. Asimismo, las preocupaciones sobre la alergenicidad y los organismos modificados genéticamente han aumentado el interés en buscar alternativas a las legumbres para producir tofu a partir de cultivos alternativos a la soya (Felix et al, 2019). Aunque el tofu ha sido tradicionalmente elaborado con soya, su definición actual no limita su producción a esta legumbre (Zheng et al, 2020). El Servicio de Investigación del Congreso de Estados Unidos señala que no es necesario etiquetar el tofu elaborado a partir de legumbres distintas de la soya como “análogo” o “sin soya”, sino nombrarlo como tofu de la legumbre en cuestión (Servicio de Investigación del Congreso, 2018). Por esta razón, buscar alternativas de legumbres para la preparación de tofu es una vía potencial de investigación y diversidad nutricional, especialmente mediante el uso de harinas como materia prima en el proceso de elaboración.

Alternativas a las legumbres

Las legumbres como lenteja, haba, garbanzo y chícharo fueron seleccionadas como alternativas para producir tofu debido a sus propiedades nutricionales y tecnofuncionales, así como por su capacidad para diversificar la producción de alimentos a base de soya.



Lenteja (*Lens culinaris* L.)

La lenteja, que pertenecen a la especie *Lens culinaris*, es valorada por sus numerosos beneficios para la salud humana y su alto contenido nutritivo. Es considerado un alimento básico en muchos países, como el subcontinente indio (Jarpa Parra, 2018). Según los estudios más recientes, las proteínas provenientes de la lenteja presentan excelentes propiedades tecnofuncionales (como solubilidad, formación de espuma y gelificación (Jarpa-Parra, 2018). Además, debido a su alto contenido de proteínas, la lenteja tiene la posibilidad de reemplazar a la soya en productos alimenticios.

Haba (*Vicia faba* L.)

Durante varios milenios, la semilla de haba ha sido cultivada y consumida en muchas culturas de todo el mundo como parte integral de varias dietas tradicionales. La versatilidad del haba no se limita a su valor nutricional, también se refiere a sus propiedades tecnofuncionales que la convierten en un ingrediente ideal en la industria alimentaria moderna (Setia et al., 2019). Las propiedades tecnofuncionales de las semillas de haba se pueden mejorar en gran medida mediante la germinación y la extrusión. Estas son particularmente importantes en la elaboración del tofu, ya que las propiedades de gelificación y la capacidad de retención de agua de las proteínas de la semilla de haba son clave para un alto nivel de calidad del producto (Rempel et al., 2019).

Chícharo (*Pisum sativum*)

El chícharo es una legumbre muy valorada en la industria alimentaria y la nutrición humana. Incorporar harina de chícharo en productos alimenticios puede mejorar significativamente sus propiedades nutricionales y tecnofuncionales (Setia et al., 2019). La harina de chícharo es reconocida por su capacidad de mejorar las propiedades reológicas de las mezclas, dando como resultado productos con mejor textura y volumen. Esto se debe, en gran parte, a su propiedad de gelificación, la cual es facilitada por sus componentes proteicos y fibras que interactúan favorablemente durante el procesamiento, formando una red que retiene agua y aire, y brinda estabilidad estructural (Millar, Barry-Ryan et al., 2019).

Garbanzo (*Cicer arietinum* L.)

La harina de garbanzo, derivada de la molienda de garbanzos secos (*Cicer arietinum* L.), se ha convertido en un ingrediente valioso en la industria alimentaria debido a sus propiedades tecnofuncionales, como las propiedades de gelificación. Esta harina es conocida por su alto contenido en proteínas, fibra, vitaminas y minerales, lo que la convierte en una alternativa atractiva a la harina tradicional para la preparación



de alimentos. La harina de garbanzo no contiene gluten de forma natural, lo que la convierte en una opción ideal para personas celíacas. Estudios recientes han demostrado que la harina de garbanzo puede formar geles sólidos en condiciones específicas de calentamiento y tratamiento enzimático, mejorando la textura de los alimentos y la retención de agua (de la Rosa-Millán et al., 2020). La formación de geles es útil para mejorar la consistencia y la estabilidad de diversos productos alimenticios (Badia-Olmos et al., 2023).

Propiedades nutricionales

Las legumbres son una fuente de nutrientes esenciales en la dieta humana, que pueden aportar beneficios a la salud. Legumbres como el garbanzo, lenteja, chícharo y haba son ricas en proteínas, fibra dietética, vitaminas y minerales (Tabla 1), lo que puede reducir el riesgo de padecer enfermedades no transmisibles como la diabetes, el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Además, son legumbres libres de gluten y estas propiedades las convierten en una alternativa de consumo para las personas celíacas (Bautista-Expósito et al., 2021; FAO, 2025; Jiang et al., 2020; Lefèvre et al., 2022; Monnet et al., 2019; Smits et al., 2023).

Tabla 1. Caracterización nutricional de harinas de leguminosas alternativas para la producción de tofu

Harina de legumbre	Carbohidratos	Fibra	Proteína	Lípidos	Cenizas	Humedad	Aporte energético
Haba	60.48±0.24 ^v	13.80±0.97 ^r	27.99±0.06 ^r	1.57±0.11 ^r	3.40±0.09 ^r	12.30±0 ^r	30.42
Lenteja	67.44±0.14 ^w	1.40±0.30 ^x	27.03±0.12 ^w	0.86±0.05 ^w	4.59±0.01 ^w	6.45±0.02 ^w	28.03
Chícharo	67.69±0.16 ^w	15.70±0.48 ^s	23.67±0.17 ^w	5.44±0.05 ^w	4.87±0.01 ^w	6.01±0.02 ^w	22.84
Garbanzo	51.10±1.00 ^x	6.30±0.40 ^x	16.90±2.00 ^x	6.3±0.40 ^x	4.87±0.02 ^w	8.14±0.01 ^w	20.56
Soya	39.10±13.50 ^h	28.60±0.50 ^h	38.10±0.00 ^h	18.30±0.60 ^h	5.00±0.00 ^h	7.3±0.10 ^h	32.19

Nota. Los valores se expresan en % ± desviación estándar. Tabla construida con datos de (Hall & Moraru, 2021)^y; (Tas et al., 2022)^w; (Ferawati et al., 2019)^s; (Millar, Gallagher, et al., 2019)^r; (Gu et al., 2020)^v; (Badia-Olmos et al., 2023)^x (Vivar-Quintana et al., 2023)^h. Los superíndices indican el origen de la información. El valor de aporte de energético fue calculado por los autores utilizando los factores de conversión estándar: 4 kcal/g para carbohidratos y proteínas, y 9 kcal/g para lípidos.

Para revisar la aproximación del contenido nutricional de legumbres, lenteja, haba, chícharo y garbanzo, se seleccionaron artículos donde se han utilizado únicamente harinas de estas legumbres para elaborar tofu, adaptándose al proceso tradicional del tofu. El perfil nutricional de las harinas de leguminosas alternativas seleccionadas comprende el contenido de carbohidratos, fibra, proteínas, lípidos, cenizas y humedad (Tabla 1) y aminoácidos (Tabla 2).

**Tabla 2.** Composición mineral y de aminoácidos de harinas de legumbres alternativas para la producción de tofu

	Haba	Lenteja	Chícharo	Garbanzo	Soya
Minerales					
K	1220.45 ± 53.83 ^r	955.00 ± 1.5 ^o	1099.16 ± 27.75 ^r	1316.66 ± 101.15 ^q	689.47 ± 0.00 ^f
P	n.d	n.d	n.d	391.66 ± 36.00 ^q	695.20 ± 0.00 ^g
Mg	101.55 ± 3.89 ^r	122.21 ± 1.12 ^o	114.2 ± 2.92 ^r	139.66 ± 6.65 ^q	258.24 ± 0.00 ^g
Ca	172.65 ± 47.06 ^r	77.00 ± 0.6 ^o	169.66 ± 27.48 ^r	n.d	300.36 ± 0.00 ^g
Cu	n.d	1.31 ± 0.2 ^o	n.d	n.d	n.d
Fe	5.48 ± 0.84 ^r	7.55 ± 0.1 ^o	3.91 ± 1.19 ^r	n.d	16.40 ± 0.00 ^g
Zn	4.18 ± 0.9 ^r	4.78 ± 0.9 ^o	3.78 ± 1.13 ^r	n.d	2.70 ± 0.00 ^g
Mn	n.d	1.63 ± 0.2 ^o	n.d	n.d	n.d
Aminoácidos					
<i>Esenciales</i>					
Histidina	32.00 ^r		27.00 ^r	25.49 ⁿ	0.2 ^e
Isoleucina	36.00 ^r	12.23 ^o	38.00 ^r	37.98 ⁿ	1.20 ^e
Leucina	71.00 ^r	24.69 ^o	77.00 ^r	75.96 ⁿ	2.00 ^e
Lisina	55.00 ^r	22.32 ^o	70.00 ^r	65.03 ⁿ	3.80 ^e
Metionina	9.00 ^r		12.00 ^r	15.61 ⁿ	0.40 ^e
Fenilalanina	43.00 ^r	4.78 ^o	49.00 ^r	58.27 ⁿ	0.80 ^e
Treonina	34.00 ^r	18.09 ^o	40.00 ^r	33.30 ⁿ	0.90 ^e
Triptófano	n.d	n.d	n.d	12.38 ⁿ	n.d
Valina	39.00 ^r	16.14 ^o	49.00 ^r	40.58 ⁿ	0.80 ^e
<i>No esenciales</i>					
Alanina	37.00 ^r	16.57 ^o	43.00 ^r	10.10 ⁱ	2.80 ^e
Arginina	77.00 ^r	28.28 ^o	49.00 ^r	20.51 ⁱ	1.50 ^e
Ácido aspártico	102.00 ^r	49.39 ^o	114.00 ^r	30.60 ⁱ	18.00 ^e
Ácido cisteico	17.00 ^r	n.d	16.00 ^r	n.d	n.d
Cisteína	11.00 ^r	n.d	14.00 ^r	3.30 ⁱ	1.00 ^e
Ácido glutámico	142.00 ^r	57.47 ^o	166.00 ^r	n.d	4.10 ^e
Glicina	34.00 ^r	16.28 ^o	42.00 ^r	9.90 ⁱ	13.50 ^e
Serina	43.00 ^r	n.d	47.00 ^r	15.6 ⁱ	1.90 ^e
Taurina	21.00 ^r	n.d	21.00 ^r	n.d	n.d
Tirosina	27.00 ^r	n.d	30.00 ^r	6.90 ⁱ	1.10 ^e

Nota. Los valores de minerales se expresan en mg/100g ± desviación estándar. Los valores de aminoácidos se expresan en mg/g. Tabla construida con datos de (Bai et al., 2018)i; (Jansone & Kunkulberga, 2023)n; (Paucean et al., 2018)o; (Millar, Gallagher, et al., 2019)r; (Dandachy et al., 2019)q; (Etiosa et al., 2018)g; (Tamangwa et al., 2023)f; (Slininger et al., 2023)e. Los superíndices indican el origen de la información.

El contenido de carbohidratos en legumbres varía entre 51.10 y 67.69%, mientras que la fibra oscila entre 1.0 y 15.70%, destacando el chícharo como la legumbre con mayor contenido de ambos nutrientes (Robbani et al., 2022). Comparado con



la soya (20.22% de carbohidratos y 7.15% de fibra), solo el chícharo (15.70%) y haba (13.80%) superaron su contenido de fibra. Según la Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (AESA), se recomienda un consumo >25 g/día de fibra para mejorar la función intestinal y reducir riesgos de enfermedades crónicas (AESA, 2010). Estudios previos indican que, aunque las legumbres tienen mayor contenido de carbohidratos, presentan menor cantidad de fibra en comparación con la soya (Xu et al., 2019).

El contenido proteico varía según la legumbre, siendo la semilla de haba la más rica en proteína (27.99%), seguida por chícharo (26.80%) y lenteja (24.67%), mientras que el garbanzo tuvo el menor contenido (16.90%) (Millar, Gallagher, et al., 2019; Robbani et al., 2022). A pesar de estos valores, todas las legumbres presentan menor contenido proteico en comparación con la soya (32-43%). La coagulación del tofu depende de la cantidad de proteínas, por lo que usar concentrados o harinas proteicas germinadas puede mejorar la firmeza del tofu (Skylas et al., 2023; Xu et al., 2019).

En términos de aporte energético (Tabla 1), la proteína representa el 30.42% de la energía total en haba, 28.03% en lenteja, 22.84% en chícharo y 20.56% en garbanzo. Según EFSA un alimento se considera rico en proteínas si al menos el 20% de su energía proviene de proteínas. En este sentido, todas las harinas de las diferentes legumbres cumplen con lo estipulado, sin embargo, la harina de garbanzo fue la que presentó menor aporte energético estando en el límite inferior, el Codex Alimentarius, por su parte, ofrece la metodología para calcular estos aportes energéticos (Codex Alimentarius, 2021; European Commission, n.d.).

El contenido de aminoácidos esenciales varía significativamente entre legumbres. Las harinas de haba, chícharo y garbanzo superan a la soya en leucina (71-77 mg/g vs. 30.5 mg/g), lisina (55-70 mg/g vs. 18.6 mg/g) y valina (39-49 mg/g vs. 26.1 mg/g) (Li et al., 2020). Sin embargo, la harina de lentejas tiene menor contenido de valina (16.14 mg/g), mientras que el garbanzo destaca con un alto contenido de metionina (15.61 mg/g), superando a la soya (13.2 mg/g). Respecto a aminoácidos no esenciales, las harinas de haba y chícharo contienen altos niveles de ácido aspártico (102-114 mg/g) y ácido glutámico (142-166 mg/g), valores superiores a los reportados en la soya (60 mg/g de ácido aspártico y 100 mg/g de ácido glutámico) (Li et al., 2020).

En general, la harina de soya presenta menor contenido de leucina, lisina, valina, ácido glutámico y ácido aspártico en comparación con algunas legumbres. Esto resalta el potencial de complementar la dieta con proteínas vegetales distintas de la soya para lograr un perfil de aminoácidos más equilibrado (Li et al., 2020).



Tecnofuncionalidad

Capacidad de retención de agua (WHC)

La capacidad de retención de agua (WHC) se refiere a la capacidad de una proteína de absorber y retener agua dentro de su estructura; sin embargo, el pH y la temperatura a la que se encuentra la proteína también pueden intervenir. Las harinas de legumbres con una alta WHC pueden formar una red más cohesiva y densa, atrapando el agua dentro de la matriz del tofu después de su proceso de fabricación, lo que da como resultado una textura más firme y menos propensa a romperse durante el procesamiento (Chen et al., 2019; Yang et al., 2020). Además, el tofu con una alta WHC tiene mayor hidratación y mejor preferencia sensorial ya que es más agradable al paladar (Badia-Olmos et al., 2023).

Estudios recientes han demostrado que los tratamientos físicos y químicos pueden mejorar la capacidad de retención de agua de las proteínas de las legumbres, aumentando así la calidad del tofu. Estudios sobre mezclas de proteínas de quinoa y lenteja demostraron que la incorporación de estas proteínas podría mejorar la estabilidad física y la WHC de las emulsiones, contribuyendo a una mejor calidad del tofu (Alonso-Miravalles et al., 2022). En este estudio, la harina de lenteja presentó la mayor capacidad de absorción de agua (1.31 g/g), como se observa en la Tabla 3, a pesar de que la harina de haba tiene un mayor contenido de proteínas, lo que generalmente favorece esta propiedad (Raikos et al., 2014). Se sugiere que este comportamiento puede deberse al contenido de lípidos, ya que una mayor proporción de estos compuestos interfiere con la absorción de agua, debido a que las harinas que contienen mayor contenido de lípidos presentan una mayor interferencia en la capacidad de las proteínas para interactuar con el agua. También se ha reportado en la literatura que la capacidad de absorción de agua para la semilla de haba es igual a 1.5 g/g (Raikos et al., 2014). La capacidad de retención de agua está directamente relacionada con la textura del tofu. Por ejemplo, el tofu de habas, que presentó un pH de 6.04 y una dureza de 16.92 ± 1.36 N, mostró una textura más blanda con una alta elasticidad (9.42 ± 1.36 mm), lo que indica que retiene más agua y es más flexible estructuralmente. En contraste, el tofu de lentejas, con la mayor dureza (175 ± 10 N), baja elasticidad (0.92 ± 0.01 mm) y alta cohesión (0.72 ± 0.02 Ns), sugiere una estructura más rígida y compacta debido a su menor retención de agua.



Tabla 3. Propiedades tecnofuncionales de harinas de leguminosas alternativas para la producción de tofu

Propiedades tecnofuncionales	Garbanzo	Lenteja	Chícharo	Haba	Soya
Capacidad de retención de agua (g/g)	1.00 ± 0.01 ^x	1.31 ± 0.07 ^x	1.20 ± 0.00 ^y	1.10 ± 0.00 ^y	2.60 ± 0.30 ^d
Capacidad de hinchamiento (ml/g)	2.90 ± 0.64 ^x	3.23 ± 0.21 ^x	n.d	n.d	n.d
Capacidad de retención de aceite (g/g)	0.77 ± 0.01 ^x	0.69 ± 0.04 ^x	1.06 - 1.17 ^u	1.10 ± 0.00 ^t	0.80 ± 0.10 ^d
Capacidad emulsionante (%)	51.40 ± 0.70 ^x	46.20 ± 0.30 ^x	44.00 ± 0.04 ^y	47.00 ± 0.07 ^y	100.00 ± 0.00 ^d
Capacidad de formación de espuma (%)	46.20 ± 5.7 ^x	57.90 ± 3.1 ^x	114.80 ± 5.50 ^y	107.8 ± 2.00 ^y	110.70 ± 7.10 ^d
Estabilidad de la espuma (%)	32.60 ± 5.40 ^x	43.20 ± 10.60 ^x	21.60 ± 0.40 ^y	21.10 ± 1.00 ^y	n.d
Módulo elástico (G') (Pa)	1609.00 ± 101 ^x	1386.00 ± 82 ^x	n.d	1505.39 ± 117.52 ^z	n.d
Factores de pérdida (tan δ) (G'/G'')	0.13 ± 0.01 ^x	0.14 ± 0.01 ^x	n.d	0.15 ± 0.06 ^z	n.d
Viscosidad (Pa.s)	1.01 ± 0.03 ^x	0.99 ± 0.02 ^x	0.58 ± 0.07 ^v	1.08 ± 0.04 ^t	n.d

Nota. Los valores se expresan en media ± desviación estándar. Tabla construida con datos de Badia-Olmos et al., (2023)^x; Mengozzi et al., (2024)^y; Setia et al., (2019)^y; Gu et al., (2020)^y; Maninder et al., (2007)^y; Setia, (2019)^y; (Astawan et al., 2023)^d. Los superíndices indican el origen de la información.

Las investigaciones han demostrado que la adición de fibras dietéticas de okara (residuo sólido durante la producción de tofu) en diferentes tamaños de partículas influye en las propiedades de gelificación y en la distribución del agua de la microestructura del gel de tofu, lo que demuestra que una mayor proporción de fibra nanoestructurada aumenta la resistencia al agua al mejorar las interacciones proteína-fibra y la capacidad de la red para atrapar agua (Ullah et al., 2019). Otros estudios han indicado que la combinación de bacterias ácido-lácticas y coagulantes de sal mejora significativamente la WHC y las características sensoriales del tofu. Estos tratamientos promueven la formación de una matriz de gel más estable y mejoran la interacción entre las moléculas de proteína y agua, lo que da como resultado un producto más suave con mejor consistencia (Yang et al., 2020). Estos hallazgos subrayan la importancia de evaluar la WHC en las proteínas utilizadas para producir tofu, garantizando así un producto final de alta calidad y aceptabilidad sensorial.

Capacidad de hinchamiento

La capacidad de hinchamiento se refiere a la capacidad de las proteínas y los carbohidratos para absorber agua y aumentar su volumen; sin embargo, el pH y la temperatura durante un proceso de fabricación, como el tofu, pueden interferir con los resultados de esta medición (Serventi et al., 2020). Esta capacidad es importante durante la preparación del tofu ya que afecta directamente la textura y firmeza del producto, además, puede influir en su capacidad para retener sabores y nutrientes, mejorando así la experiencia sensorial del consumidor y el valor nutricional del producto final.

Las proteínas y los carbohidratos con una alta capacidad de hinchamiento forman redes más cohesivas y estables, lo que mejora la retención de agua y, por lo tanto, la firmeza del tofu. Esta es la característica del tofu que aún conserva su forma y textura



durante el procesamiento, almacenamiento y consumo (Ullah et al., 2019). Tal fue el trabajo de Ullah et al. (2019), en el que se indicó que la incorporación de fibras dietéticas, tanto nanoestructuradas como microestructuradas, mejoró evidentemente la capacidad de hinchamiento y, en esencia, la calidad del tofu. Por ejemplo, se ha demostrado que las fibras de okara, con tamaños de partículas variados, mejoran la capacidad de hinchamiento, lo que hace que la red de gel sea más estable y continua (Ullah et al., 2019). También se observó que las propiedades fisicoquímicas del tofu cambiaban considerablemente cuando se utilizaban diferentes coagulantes, un desarrollo que subraya la importancia crítica de la selección de coagulantes para una calidad óptima del tofu (Engmann y Sanful, 2019).

La harina de lenteja presentó la mayor capacidad de hinchamiento (3.23 ml/g), seguida por la harina de garbanzo (2.90 ml/g), mientras que no se evaluó esta propiedad en haba y chícharo. Este comportamiento en garbanzo puede estar relacionado con la presencia de lípidos, que forman complejos con el almidón y pueden afectar la expansión de la harina (Kemashalini, 2018). Los valores de hinchamiento pueden explicar ciertas diferencias en la textura del tofu. El tofu de garbanzo y lenteja, que presentaron una mayor cohesión y dureza, podrían haber formado redes proteicas más densas, lo que da lugar a tofu más compacto y firme. En cambio, el tofu de chícharo, con una menor capacidad de retención de agua y un pH de 6.05, no logró reformarse tras su interrupción física, indicando que su proceso debe optimizarse para mejorar la estabilidad del gel.

Capacidad de retención de aceite (OHC)

La capacidad de retención de aceite (OHC), factor clave en la matriz alimentaria, se basa en la interacción de los lípidos con las proteínas y otros componentes del sistema. Es importante considerar que las proteínas con alta capacidad de retención de aceite suelen tener una estructura desplegada debido a la desnaturalización, ya sea por temperatura o pH, permitiendo la exposición superficial de una gran cantidad de grupos hidrofóbicos en la proteína, resultando en una fácil formación de una red adecuada para atrapar gotitas de aceite, dando como resultado que los lípidos se inserten en la matriz proteica. Una adecuada OHC permite que el tofu mantenga una textura cremosa y una mejor preferencia del consumidor, reteniendo compuestos lipofílicos que enriquecen el sabor del producto. Además, la retención de aceite ayuda a mantener la integridad estructural del tofu durante la cocción y el almacenamiento, evitando que se seque y se desmorone (Ezeama y Dobson, 2019). Cabe resaltar que un tofu con alta capacidad de retención de aceite tiene menos probabilidades de perder humedad y desintegrarse, lo que es crucial para mantener la calidad del producto a lo largo del tiempo (Shang et al., 2020). Cabe destacar que



la adición de lípidos durante el proceso de producción del tofu puede aumentar el valor nutricional, aportando ácidos grasos esenciales en las legumbres (Badia-Olmos et al., 2023; Sipiencie et al., 2021). Los estudios sobre harinas de legumbres tratadas con alta presión hidrostática han demostrado un aumento del contenido de OHC, lo que da como resultado productos de tofu más estables y con mejor textura (Sosa et al., 2020).

En cuanto a la absorción de aceite, las harinas de haba y chícharo mostraron los valores más altos (1.06 y 1.10 g/g, respectivamente) (Tabla 3), lo que indica una mayor proporción de proteínas hidrófobas insolubles, mejorando la retención de sabor (Raikos et al., 2014).

Capacidad emulsionante

La capacidad emulsionante está influenciada por factores como la solubilidad de la proteína, su hidrofobicidad superficial y la capacidad de formar una película viscoelástica en la interfase aceite-agua. Las proteínas con alta solubilidad y una mayor proporción de aminoácidos hidrofóbicos en su superficie son más efectivas para estabilizar emulsiones ya que pueden interactuar mejor con las moléculas de aceite y agua (Felix et al., 2019). La harina de garbanzo mostró la mayor capacidad emulsionante (51.40%), posiblemente debido a la alta solubilidad de sus proteínas en el pH utilizado para la emulsión (Badia-Olmos et al., 2023). El tofu de garbanzo y lenteja, que mostró mayor cohesión, también tuvo valores altos de capacidad emulsionante, lo que favorece una estructura más estable y homogénea. La capacidad emulsionante garantiza que las fases de aceite y agua permanezcan homogéneas, evitando la separación de fases y contribuyendo a una mejor consistencia del producto, como en la producción de tofu (Chen et al., 2019; Hena Ossa, 2021). La estabilidad de las emulsiones también es importante para mantener la integridad de los nutrientes y los compuestos bioactivos presentes en una matriz alimentaria. La retención de lípidos y otros nutrientes en una emulsión estable puede mejorar el perfil nutricional del tofu (Liu et al., 2022). El desarrollo del tofu de garbanzo y soya por Gharibzahedi y Smith (2020) demostró que el tratamiento de las proteínas del garbanzo aumenta la capacidad emulsionante, lo que resulta en una mayor estabilidad de la emulsión y una mejor textura del tofu.

Capacidad y estabilidad de formación de espuma

La capacidad de formación de espuma depende de la solubilidad de las proteínas y de su capacidad para reducir la tensión superficial entre el aire y el agua. Las proteínas con una alta capacidad de formación de espuma pueden crear una estructura de burbujas uniforme y estable, lo que da como resultado una textura más aireada y ligera. La formación de espuma depende de la composición y la estructura de las



proteínas, así como de factores externos como el pH y la temperatura (Lafarga et al., 2018). Sin embargo, la estabilidad de la espuma se refiere a la capacidad de la espuma generada de mantener su estructura sin colapsar durante un período determinado. Además, al incorporar diferentes aditivos y coagulantes, como bacterias de ácido láctico y coagulantes de sal, se pueden mejorar las características de calidad y la estabilidad de almacenamiento del tofu, demostrando una sinergia que optimiza la textura y la capacidad de retención de agua (Yang et al., 2020).

Cuando las emulsiones se procesan en diferentes combinaciones de temperatura y presión, muestran variaciones en su capacidad para formar espuma, lo que se debe a cambios en el contenido de proteínas y carbohidratos, así como a la formación de agregados compactos ricos en proteínas que se adsorben eficientemente en la interfaz aceite/agua, mejorando la estabilidad del sistema (Henao Ossa et al., 2020).

Las harinas de chícharo y haba mostraron la mayor capacidad de formación de espuma (114.80% y 107.80%, respectivamente), mientras que garbanzo y lenteja presentaron valores significativamente menores (46.20% y 57.90%, respectivamente). La estabilidad de la espuma fue mayor en la harina de lenteja (43.20%) en comparación con el garbanzo (32.60%), lo que indica que las proteínas de lenteja tienen una mayor capacidad para formar películas que estabilizan las burbujas de aire (Badia-Olmos et al., 2023).

Módulo elástico

El módulo elástico, o módulo de viscoelasticidad, mide la rigidez de un material y describe la relación entre la tensión y la deformación en el rango elástico de deformación de un material. Un tofu con un módulo elástico adecuado (el uso de 0.15 g/100 mL de CaSO_4) proporciona la mayor firmeza ($G' \approx 610$ Pa), tiene una estructura que puede soportar manipulaciones sin romperse, ofreciendo una sensación agradable al paladar (Zhao et al., 2020).

El proceso de coagulación y las condiciones de procesamiento, como el tipo de coagulante utilizado, influyen significativamente en el módulo elástico del tofu. Por ejemplo, un estudio descubrió que la adición de diferentes sales, como KCl, CaCl_2 y CaSO_4 , durante la gelificación inducida por ácido cítrico, daba como resultado tofu con variaciones en su elasticidad y capacidad de retención de agua. El tofu inducido con CaSO_4 presentó máxima elasticidad y mejor retención de agua, lo que se traduce en una textura más deseable (Zhao et al., 2020). Además, la microestructura y la composición proteica del tofu determinan su módulo elástico. Por ejemplo, el proceso de congelación y almacenamiento en frío induce cambios en la microestructura de las proteínas, lo que promueve interacciones proteína-proteína que aumentan la rigidez del tofu (Kobayashi et al., 2020).



El módulo elástico (G'), que representa la rigidez del gel de tofu, fue mayor en la harina de garbanzo (1609 Pa), seguido de haba (1505 Pa) y lenteja (1386 Pa), lo que sugiere que estas harinas tienen una mejor capacidad para formar geles estructuralmente estables. En cuanto a la viscosidad, las harinas de haba y garbanzo mostraron los valores más altos (1.01 y 1.08 Pa·s, respectivamente), lo que indica una textura espesa que puede requerir ajustes en el procesamiento para mejorar la manipulación del tofu (Shin et al., 2015). Por otro lado, Jao et al. (2022) mencionaron que presentaron problemas durante la preparación de tofu a base de lenteja. El principal desafío fue encontrar la concentración adecuada tanto de quitosano como de sulfato de calcio para una coagulación adecuada de la proteína, la cual consiguieron mediante prueba y error. Además, la adición de mayores cantidades de quitosano provocó una estructura superficial más áspera y quebradiza, lo que no es deseable para los consumidores.

Factor de pérdida

Los factores de pérdida, o tan delta ($\tan \delta$), son cruciales para la producción de tofu debido a su influencia en las propiedades viscoelásticas de los materiales involucrados en el proceso. $\tan \delta$ es una medida de la disipación de energía en un material, que representa la relación entre la pérdida de energía (viscosa) y la energía almacenada (elástica) durante la deformación. En la producción de tofu, la elección de coagulantes como el cloruro de magnesio ($MgCl_2$) y la glucono- δ -lactona (GDL) afecta significativamente la formación de la estructura del tofu al influir en la carga superficial de las proteínas de la bebida de soya y en las interacciones hidrofóbicas intermoleculares (Arii et al., 2021). Una viscoelasticidad adecuada es esencial para lograr la textura deseada en el tofu, permitiendo una gelificación óptima y la formación de una matriz proteica firme y cohesiva, que retiene el agua y proporciona la consistencia característica del tofu (Zheng et al., 2020).

Los valores de $\tan \delta$ (G''/G') fueron similares entre garbanzo, lenteja y haba (0.13 a 0.15 s), lo que indica que estas harinas presentan un comportamiento más elástico, favoreciendo la estabilidad estructural del tofu durante la manipulación, transporte y almacenamiento (Shin et al., 2015).

Viscosidad

La viscosidad es un parámetro crucial en la producción de tofu, ya que influye en varias etapas del proceso, desde la preparación de la bebida de soya hasta la coagulación y la formación del gel final. La viscosidad de la bebida de soya afecta directamente la textura del tofu, la capacidad de retención de agua y la eficiencia del proceso de coagulación. Por ejemplo, una mayor viscosidad puede dificultar la distribución uniforme de los coagulantes, lo que da como resultado una textura inconsistente y una menor calidad



del producto final (Hendrasarie et al., 2022). Además, la viscosidad de la bebida de la legumbre puede modificarse mediante el contenido de proteínas y el tratamiento térmico, lo que a su vez influye en la formación del gel y la estructura microestructural del tofu, mejorando su firmeza y capacidad de retención de agua (Guan et al., 2021).

La viscosidad de las harinas de legumbres afecta la manipulación y el procesamiento del tofu. Las harinas de haba y garbanzo presentaron los valores más altos de viscosidad (1.01 y 1.08 Pa·s, respectivamente), seguidas por la lenteja (0.99 Pa·s), lo que indica una consistencia más espesa que puede dificultar la mezcla y coagulación del tofu, requiriendo ajustes en el procesamiento. En contraste, la harina de chícharo mostró una viscosidad menor (0.58 Pa·s), lo que facilita su manipulación, pero puede reducir la capacidad de retención de agua, generando un tofu más fino y propenso a la sinéresis (Shin et al., 2015). Sin embargo, durante la preparación del tofu a partir de haba surgieron algunos desafíos, como la gelatinización del almidón durante la desnaturalización de las proteínas, ya que aumentó la viscosidad de la suspensión y dio como resultado geles con una textura como pegamento o una consistencia demasiado firme, diferente a la textura deseada del tofu.

Propiedades fisicoquímicas

Las propiedades fisicoquímicas del tofu, como su textura, estabilidad y comportamiento frente a la deformación, son fundamentales para comprender la calidad del producto final. Estas propiedades se ven influenciadas por múltiples factores, incluyendo el tipo de harina utilizada, los aditivos, los coagulantes empleados y las condiciones de procesamiento y, por ende, en la calidad del tofu.

Las propiedades fisicoquímicas del tofu, como pH, textura y color, son clave para su estabilidad y calidad. En la Tabla 4 se presentan los valores de textura reportados a través de parámetros como dureza, elasticidad y cohesión, mientras que el color se reporta de acuerdo con el espacio CIE $L^*a^*b^*$, considerando luminosidad (L^*), rojo-verde (a^*) y amarillo-azul (b^*).

Tabla 4. Propiedades fisicoquímicas de legumbres alternativas para la producción de tofu

Tofu	Dureza	Textura Elasticidad	Cohesividad	L^*	Color a^*	b^*
Haba	16.92 ± 1,36 ^l	9.42 ± 1,36 ^l	0.21 ± 0.00 ^l	83.07 ± 0.53 ^l	-0.19 ± 0.01 ^l	9.88 ± 0.14 ^l
Chícharo	n.d	n.d	n.d	840.2 ± 0.20 ^k	-1.2 ± 0.0 ^k	11.4 ± 0.2 ^k
Lenteja	52.50 ± 2.30 ^j	n.d	14.70 ± 0.40 ^j	82.34 ± 0.53 ^j	-0.34 ± 0.05 ^j	11.76 ± 0.29 ^j
Garbanzo	175 ± 10 ^m	0.92 ± 0.01 ^m	0.72 ± 0.02 ^m	81.05 ± 0.48 ^m	1.46 ± 0.16 ^m	23.57 ± 0.8 ^m
Soya	178.52 ± 9.65 ^b	0.89 ± 0.04 ^b	0.55 ± 0.04 ^b	87.55 ± 0.24 ^c	0.32 ± 0.07 ^c	14.22 ± 0.36 ^c

Nota. Los valores de dureza, elasticidad y cohesión se expresan en N, mm y Ns ± desviación estándar, respectivamente. Tabla construida con datos de Silsin et al., (2021)^m; Preis, (2023); DePalma et al., (2019)^k; Jao et al., (2022)^j; (Kim et al., 2019)^l; (Dang et al., 2023)^b. Los superíndices indican el origen de la información.



Perfil de textura

El tofu de haba presentó un pH de 6.04, con una dureza de 16.92 ± 1.36 N, elasticidad de 9.42 ± 1.36 mm y cohesividad de 0.21 ± 0.00 Ns. Su textura más blanda, en comparación con otros tipos de tofu, sugiere menor capacidad para mantener la forma, aunque su alta elasticidad proporciona flexibilidad estructural (Preis, 2023).

El tofu de lenteja presentó una dureza (52.50 ± 10 N), y cohesividad de 14.70 ± 0.40 Ns. Su buena dureza sugiere una textura firme, pero su alta elasticidad permite mantener la estructura, lo que lo hace ideal para aplicaciones que requieren tofu con mayor firmeza (Jao et al., 2022).

El tofu de garbanzo mostró características similares al de lenteja, con un pH de 6.20, dureza de 175 ± 10 N, elasticidad de 0.92 ± 0.01 mm y cohesividad de 0.72 ± 0.02 Ns (Silsin et al., 2021), pero es importante señalar que esta muestra se encuentra en combinación con soya, por lo tanto, no es posible atribuir toda la dureza a la harina de garbanzo, además, presentó valores de dureza similares al tofu de soya, por lo que se puede concluir que sus valores de dureza se atribuyen gracias a la combinación con la soya.

En el caso del tofu de chícharo, no pudieron evaluar su perfil de textura, ya que el producto no logró reformarse tras la interrupción física, lo que indica la necesidad de optimizar el proceso para obtener un tofu más firme y estable. Esto es debido a que las proteínas de chícharo (vicilina y legumina) tienen menos enlaces disulfuro en comparación con las proteínas de soya. Esto dio como resultado la formación de cuajadas más débiles, lo que dificultó la obtención de una cuajada uniforme y firme, similar a la obtenida con soya (DePalma et al., 2019). Sin embargo, la producción de tofu a partir de chícharo amarillo ofrece una alternativa viable a la soya, especialmente para los consumidores con alergias o preocupaciones sobre los organismos modificados genéticamente. El estudio de DePalma et al. (2019) examina cómo la pasteurización, la adición de grasa y la alteración física de la cuajada afectan las propiedades del tofu a base de chícharo. Mencionan que por medio de la pasteurización aumenta la absorción de agua y la dureza de la cuajada. Además, observaron que la alteración física, seguida de la pasteurización, mejora significativamente la dureza del tofu, debido a un aumento en las estructuras de láminas beta y la exposición de las regiones hidrofóbicas de las proteínas. Estos cambios permiten que el tofu a base de chícharo logre obtener una textura comparable al tofu de soya comercial (DePalma et al., 2019).

Color

El color del tofu de haba mostró alta luminosidad ($L^* = 83.07 \pm 0.53$), un ligero tinte verdoso ($a^* = -0.19 \pm 0.01$) y amarillo moderado ($b^* = 9.88 \pm 0.14$). El tofu de chícharo tuvo el mayor valor de luminosidad ($L^* = 84.2 \pm 0.2$), un tono verdoso más marcado ($a^* = -1.2 \pm 0.0$) y amarillo moderado ($b^* = 11.4 \pm 0.2$).



En el caso del tofu de lenteja, su color fue claro ($L^* = 82.34 \pm 0.53$), con tintes verdosos ($a^* = -0.34 \pm 0.05$) y amarillos ($b^* = 11.76 \pm 0.29$). Su color presentó alta luminosidad ($L^* = 81.05 \pm 0.48$), un tinte rojizo ($a^* = 1.46 \pm 0.16$) y el amarillo más intenso ($b^* = 23.57 \pm 0.8$). En términos de color, el tofu con una mayor proporción de garbanzo muestra una mayor intensidad de color marrón-amarillo debido a los pigmentos naturales presentes, como la xantofila y la antocianina (Jyotsna et al., 2020). Su firmeza y baja elasticidad refuerzan su estabilidad estructural, mientras que su color rojizo y amarillo intenso pueden influir en la percepción sensorial del consumidor.

Conclusiones

En la presente revisión se analizaron diferentes legumbres como ingredientes alternativos para la producción de tofu, evaluando sus propiedades tecnológicas, funcionales y nutricionales. Los resultados muestran que legumbres como lenteja, haba y garbanzo tienen un gran potencial para ser utilizadas en la producción de tofu, aportando perfiles nutricionales ricos en proteínas, fibras, vitaminas y minerales. Cada legumbre tiene características específicas que influyen en la textura, firmeza, cohesión y color del tofu, esenciales para su aceptación y calidad sensorial. El tofu de lenteja se destacó por su alta dureza y cohesión, lo que lo hace adecuado a la harina de esta legumbre para aplicaciones que requieren un gel con estructura robusta, aunque presenta desafíos en la gelatinización del almidón. La harina de haba muestra un gran potencial debido a su capacidad para formar geles firmes y cohesivos, tal y como señalan los resultados del tofu a partir de esta harina. La harina de chícharo tiene buena capacidad de gelificación y retención de agua, pero enfrenta dificultades para formar cuajadas firmes debido a la menor cantidad de enlaces disulfuro en sus proteínas, tal y como sería el caso de la elaboración de un tofu a partir de harina de chícharo. Por su parte, el tofu de garbanzo presenta importantes beneficios nutricionales, aunque su menor elasticidad y cohesión requieren una optimización para mejorar su textura.

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.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CONAHCYT) por la beca de posgrado otorgada (CVU: 1265576) y al Fondo de Ciencia Frontera 2023-I-2694.



Referencias

- Ahnen, R. T., Jonnalagadda, S. S., & Slavin, J. L. (2019). Role of plant protein in nutrition, wellness, and health. *Nutrition Reviews*, 77(11), 735–747. <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuz028>
- Alonso-Miravalles, L., Zannini, E., Bez, J., Arendt, E. K., & O'Mahony, J. A. (2022). Formation and thermal and colloidal stability of oil-in-water emulsions stabilized using quinoa and lentil protein blends. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 102(12), 5077–5085. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11219>
- Arii, Y., Sano, Y., & Nishizawa, K. (2021). Direct comparison of the tofu-like precipitate formation by adding different coagulants: magnesium chloride and glucono- δ -lactone. *Heliyon*, 7(6), e07239. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e07239>
- Astawan, M., Nazhifah, N., Wulandari, N., Wresdiyati, T., & Febrinda, A. E. (2023). The equivalence test of functional properties and sensory characteristics of transgenic and nontransgenic soybean-based soy flour. *Food Research*, 7, 11–18. [https://doi.org/10.26656/fr.2017.7\(S2\).2](https://doi.org/10.26656/fr.2017.7(S2).2)
- Badia-Olmos, C., Laguna, L., Haros, C. M., & Tárrega, A. (2023). Techno-Functional and Rheological Properties of Alternative Plant-Based Flours. *Foods*, 12(7). <https://doi.org/10.3390/foods12071411>
- Bai, T., Nosworthy, M. G., House, J. D., & Nickerson, M. T. (2018). Effect of tempering moisture and infrared heating temperature on the nutritional properties of desi chickpea and hull-less barley flours, and their blends. *Food Research International*, 108(2017), 430–439. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.02.061>
- Bautista-Expósito, S., Vandenberg, A., Peñas, E., Frias, J., & Martínez-Villaluenga, C. (2021). Lentil and Fava Bean With Contrasting Germination Kinetics: A Focus on Digestion of Proteins and Bioactivity of Resistant Peptides. *Frontiers in Plant Science*, 12(October). <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.754287>
- Benayad, A., & Aboussaleh, Y. (2021). Mineral Composition of Lentils: Physiological Functions, Antinutritional Effects, and Bioavailability Enhancement. *Journal of Food Quality*, 2021, 5515654. <https://doi.org/10.1155/2021/5515654>
- Benbrook, C. M. (2025). Hypothesis: glyphosate-based herbicides can increase risk of hematopoietic malignancies through extended persistence in bone. *Environmental Sciences Europe*, 37(1), 1–17. <https://doi.org/10.1186/s12302-025-01057-1>
- Chen, B., Cai, Y., Liu, T., Huang, L., Deng, X., Zhao, Q., & Zhao, M. (2019). Improvements in physicochemical and emulsifying properties of insoluble soybean fiber by physical-chemical treatments. *Food Hydrocolloids*, 93(July 2018), 167–175. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.058>



- Cheng, A., Raai, M. N., Zain, N. A. M., Massawe, F., Singh, A., & Wan-Mohtar, W. A. A. Q. I. (2019). In search of alternative proteins: unlocking the potential of underutilized tropical legumes. *Food Security*, 11(6), 1205–1215. <https://doi.org/10.1007/s12571-019-00977-0>
- Codex Alimentarius. (2021). Guidelines on nutrition labelling. *Pharmacognosy Magazine*, 75(17). https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/sh-proxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252FStandards%252FCXG%2B2-1985%252FCXG_002e.pdf
- Dandachy, S., Mawlawi, H., & Obeid, O. (2019). Effect of processed chickpea flour incorporation on sensory properties of mankoushe zaatar. *Foods*, 8(5), 1–9. <https://doi.org/10.3390/foods8050151>
- Dang, Y., Ren, J., Guo, Y., Yang, Q., Liang, J., Li, R., Zhang, R., Yang, P., Gao, X., & Du, S. kui. (2023). Structural, functional properties of protein and characteristics of tofu from small-seeded soybeans grown in the Loess Plateau of China. *Food Chemistry: X*, 18(January), 100689. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.100689>
- de la Rosa-Millán, J., Orona-Padilla, J. L., Flores-Moreno, V. M., & Serna-Saldívar, S. O. (2020). Effect of jet-cooking and hydrolyses with amylases on the physicochemical and *in vitro* digestion performance of whole chickpea flours. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 690–701. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14338>
- DePalma, K., Smith, B., & McDonald, A. G. (2019). Effect of Processing Conditions, Biochemical Properties, and Microstructure on Tofu Production from Yellow Field Peas (*Pisum sativum*). *Journal of Food Science*, 84(12), 3463–3472. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14940>
- Didinger, C., & Thompson, H. J. (2021). Defining nutritional and functional niches of legumes: A call for clarity to distinguish a future role for pulses in the dietary guidelines for americans. *Nutrients*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/nu13041100>
- EFSA. (2010). Scientific Opinion on the substantiation of health claims related to zinc and maintenance of normal skin (ID 293), DNA synthesis and cell division (ID 293), contribution to normal protein synthesis (ID 293, 4293), maintenance of normal serum testosterone. *EFSA Journal*, 8(10), 1–25. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1819>
- Engmann, F. N., & Sanful, R. E. (2019). Evaluation of the Physico-chemical, Functional and sensory attributes of instant fufu developed from bitter yam (*Dioscorea dumetorum*). *International Journal of Food and Nutrition Research*, 3, 26. <https://doi.org/10.28933/ijfnr-2019-03-1406>



- Etiosa, O., Chika, N., & Benedicta, A. (2018). Mineral and Proximate Composition of Soya Bean. *Asian Journal of Physical and Chemical Sciences*, 4(3), 1–6. <https://doi.org/10.9734/ajopacs/2017/38530>
- European Commission. (n.d.). *Food Safety*. https://food.ec.europa.eu/food-safety/labelling-and-nutrition/nutrition-and-health-claims/nutrition-claims_en?utm_source=chatgpt.com
- Ezeama, C. F., & Dobson, G. N. (2019). Effect of coagulants on the physicochemical properties of fresh tofu. *African Journal of Food Science*, 13(12), 287–296. <https://doi.org/10.5897/ajfs2019.1826>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2025). *Día Mundial de las Legumbres | 10 de febrero*. <https://www.fao.org/world-pulses-day/es>
- Felix, M., Cermeño, M., Romero, A., & FitzGerald, R. J. (2019). Characterisation of the bioactive properties and microstructure of chickpea protein-based oil in water emulsions. *Food Research International*, 121(July 2018), 577–585. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.12.022>
- Ferawati, F., Hefni, M., & Witthöft, C. (2019). Flours from Swedish pulses: Effects of treatment on functional properties and nutrient content. *Food Science and Nutrition*, 7(12), 4116–4126. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1280>
- Foyer, C. H., Lam, H. M., Nguyen, H. T., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K., Colmer, T. D., Cowling, W., Bramley, H., Mori, T. A., Hodgson, J. M., Cooper, J. W., Miller, A. J., Kunert, K., Vorster, J., Cullis, C., Ozga, J. A., Wahlqvist, M. L., Liang, Y., Shou, H., ... Considine, M. J. (2016). Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nature Plants*, 2(8), 1–10. <https://doi.org/10.1038/NPLANTS.2016.112>
- Fuentes Cuiñas, A. A., Vailati, P. A., & Lazzatti, G. L. (2020). Vegetarianismo y veganismo: percepciones en el consumo de bebidas de origen vegetal en el Área Metropolitana de Buenos Aires. *Revista RIVAR*, 7(21), 124–135. <https://doi.org/10.35588/rivar.v7i21.4641>
- Gharibzahedi, S. M. T., & Smith, B. (2020). The functional modification of legume proteins by ultrasonication: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 98(January), 107–116. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.02.002>
- Guan, X., Zhong, X., Lu, Y., Du, X., Jia, R., Li, H., & Zhang, M. (2021). Changes of soybean protein during tofu processing. *Foods*, 10(7), 1–16. <https://doi.org/10.3390/foods10071594>
- Hall, A. E., & Moraru, C. I. (2021). Structure and function of pea, lentil and faba bean proteins treated by high pressure processing and heat treatment. *Lwt*, 152(August), 112349. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112349>



- Henao Ossa, J. S. (2021). *Obtención, caracterización y evaluación de las propiedades interfaciales y emulsionantes de proteínas de sueros de soja y de tofu para la formulación de emulsiones alimentarias ácidas, estables en condiciones de estrés tecnológico* [tesis de doctorado]. Universidad Nacional de Quilmes. Repositorio institucional UNQ. <https://ridaa.unq.edu.ar/handle/20.500.11807/2946>
- Henao Ossa, J. Sebastian, Wagner, J. R., & Palazolo, G. G. (2020). Influence of chemical composition and structural properties on the surface behavior and foam properties of tofu-whey concentrates in acid medium. *Food Research International*, 128(November 2019), 108772. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108772>
- Hendrasarie, N., Fadilah, K., & Ranno, M. R. (2022). Sequencing Batch Reactor to Treatment Tofu Wastewater Using Impeller Addition. *Journal of Ecological Engineering*, 23(11), 158–164. <https://doi.org/10.12911/22998993/153491>
- Jansone, L., & Kunkulberga, D. (2023). Quantitative Assessment of Indispensable Amino Acids in the Flour Confectionery Food Products of Plant Origin - Tofu Cake and Tofu Muffin with Chickpea Flour. *Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B: Natural, Exact, and Applied Sciences*, 77(2), 126–131. <https://doi.org/10.2478/prolas-2023-0018>
- Jao, C. H., Lin, C. Y., Chen, C. J., & Hsieh, J. F. (2022). Effects of Calcium Sulfate and Chitosan on Textural Modification and Microstructure of Tofu Made from Lentils (*Lens culinaris*). *Processes*, 10(10), 2000. <https://doi.org/10.3390/pr10102000>
- Jarpa-Parra, M. (2018). Lentil protein: a review of functional properties and food application. An overview of lentil protein functionality. *International Journal of Food Science and Technology*, 53(4), 892–903. <https://doi.org/10.1111/ijfs.13685>
- Jedrusek-Golinska, A., Piasecka-Kwiatkowska, D., Zielinska, P., Zielinska-Dawidziak, M., Szymandera-Buszka, K., & Hes, M. (2019). Soy preparations are potentially dangerous factors in the course of a food allergy. *Foods*, 8(12), 655. <https://doi.org/10.3390/foods8120655>
- Jeewanthi, R. K. C., & Paik, H. D. (2018). Modifications of nutritional, structural, and sensory characteristics of non-dairy soy cheese analogs to improve their quality attributes. *Journal of Food Science and Technology*, 55(11), 4384–4394. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3408-3>
- Jiang, Z. Q., Wang, J., Stoddard, F., Salovaara, H., & Sontag-Strohm, T. (2020). Preparation and characterization of emulsion gels from whole faba bean flour. *Foods*, 9(6), 1–15. <https://doi.org/10.3390/foods9060755>
- Jukanti, A. K., Gaur, P. M., Gowda, C. L. L., & Chibbar, R. N. (2012). Nutritional quality and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *British Journal of Nutrition*, 108(SUPPL. 1). <https://doi.org/10.1017/S0007114512000797>



- Jyotsna, D., satpathi, A., Swaroop, O., Singh, N., & Kumar, C. D. (2020). Impact of Salt Stress on Germination and Growth on Chickpea (*Cicer arietinum* L.): A Review. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 9(11), 1416–1421. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2020.911.166>
- Kemashalini, K. (2018). Physico-chemical Properties of High and Low Amylose Rice Flour. *Advances in Food Science and Engineering*, 2(4), 115–124. <https://doi.org/10.22606/afse.2018.24003>
- Kim, Y. N., Muttakin, S., Jung, Y. M., Heo, T. Y., & Lee, D. U. (2019). Tailoring physical and sensory properties of tofu by the addition of jet-milled, superfine, defatted soybean flour. *Foods*, 8(12). <https://doi.org/10.3390/foods8120617>
- Kobayashi, R., Ishiguro, T., Ozeki, A., Kawai, K., & Suzuki, T. (2020). Property changes of frozen soybean curd during frozen storage in “Kori-tofu” manufacturing process. *Food Hydrocolloids*, 104(January), 105714. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105714>
- Lafarga, T., Álvarez, C., Bobo, G., & Aguiló-Aguayo, I. (2018). Characterization of functional properties of proteins from Ganxet beans (*Phaseolus vulgaris* L. var. Ganxet) isolated using an ultrasound-assisted methodology. *Lwt*, 98, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.08.033>
- Lefèvre, C., Bohuon, P., Lullien-Pellerin, V., & Mestres, C. (2022). Modeling the Thermal Denaturation of the Protein-Water System in Pulses (Lentils, Beans, and Chickpeas). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 70(32), 9980–9989. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.2c03553>
- Li, S., Jin, Z., Hu, D., Yang, W., Yan, Y., Nie, X., Lin, J., Zhang, Q., Gai, D., Ji, Y., & Chen, X. (2020). Effect of solid-state fermentation with *Lactobacillus casei* on the nutritional value, isoflavones, phenolic acids and antioxidant activity of whole soybean flour. *Lwt*, 125(February), 109264. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109264>
- Lisiecka, M. Z. (2025). Prospects and challenges in soya component allergy study: a systematic literature overview. *International Journal of Nutrology*, 18(2). <https://doi.org/10.54448/IJN25210>
- Liu, C., Pei, R., & Heinonen, M. (2022). Faba bean protein: A promising plant-based emulsifier for improving physical and oxidative stabilities of oil-in-water emulsions. *Food Chemistry*, 369(August 2021), 130879. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130879>
- Maninder, K., Sandhu, K. S., & Singh, N. (2007). Comparative study of the functional, thermal and pasting properties of flours from different field pea (*Pisum sativum* L.) and pigeon pea (*Cajanus cajan* L.) cultivars. *Food Chemistry*, 104(1), 259–267. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2006.11.037>



- Matsuo, A., Matsushita, K., Fukuzumi, A., Tokumasu, N., Yano, E., Zaima, N., & Moriyama, T. (2020). Comparison of various soybean allergen levels in genetically and non-genetically modified soybeans. *Foods*, *9*(4), 1–18. <https://doi.org/10.3390/foods9040522>
- Mengozzi, A., Chiavaro, E., Barbanti, D., & Bot, F. (2024). Heat-Induced Gelation of Chickpea and Faba Bean Flour Ingredients. *Gels*, *10*(5), 309. <https://doi.org/10.3390/gels10050309>
- Millar, K. A., Barry-Ryan, C., Burke, R., McCarthy, S., & Gallagher, E. (2019). Dough properties and baking characteristics of white bread, as affected by addition of raw, germinated and toasted pea flour. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, *56*(September 2018), 102189. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2019.102189>
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, *82*(July 2018), 103233. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>
- Monnet, A. F., Laleg, K., Michon, C., & Micard, V. (2019). Legume enriched cereal products: A generic approach derived from material science to predict their structuring by the process and their final properties. *Trends in Food Science and Technology*, *86*(February 2018), 131–143. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.02.027>
- Paucean, A., Moldovan, O. P., Muresan, V., Socaci, S. A., Dulf, F. V., Alexa, E., Man, S. M., Muresan, A. E., & Muste, S. (2018). Folic acid, minerals, amino-acids, fatty acids and volatile compounds of green and red lentils. Folic acid content optimization in wheat-lentils composite flours. *Chemistry Central Journal*, *12*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1186/s13065-018-0456-8>
- Raikos, V., Neacsu, M., Russell, W., & Duthie, G. (2014). Comparative study of the functional properties of lupin, green pea, fava bean, hemp, and buckwheat flours as affected by pH. *Food Science and Nutrition*, *2*(6), 802–810. <https://doi.org/10.1002/fsn3.143>
- Rempel, C., Geng, X., & Zhang, Y. (2019). Industrial scale preparation of pea flour fractions with enhanced nutritive composition by dry fractionation. *Food Chemistry*, *276*, 119–128. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.10.003>
- Robbani, R. Bin, Hossen, M. M., Mitra, K., Haque, M. Z., Zubair, M. A., Khan, S., & Uddin, M. N. (2022). Nutritional, Phytochemical, and in Vitro Antioxidant Activity Analysis of Different States of Soy Products. *International Journal of Food Science*, *2022*(1), 9817999. <https://doi.org/10.1155/2022/9817999>



- Samtiya, M., Aluko, R. E., & Dhewa, T. (2020). Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Production, Processing and Nutrition*, 2(1), 1–14. <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Saperas, M., Díez, M., Martín-gómez, H., Rivera, A., Abadias, M., & Aguiló-aguayo, I. (2023). *Las legumbres como ingrediente potencial para el sector agroalimentario*. Biblioteca Horticultura
- Serventi, L., Gao, C., Chen, M., & Chelikani, V. (2020). *Cooking water functional properties*. In *Upcycling Legume Water: From Wastewater to Food Ingredients*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-42468-8_7
- Service Congressional Research. (2018). *Standards of identity for foods and plant-based food products (CRS Report No. IF10811)*. United States Congress. <https://crsreports.congress.gov/product/pdf/IF/IF10811>
- Setia, R., Dai, Z., Nickerson, M. T., Sopiwnyk, E., Malcolmson, L., & Ai, Y. (2019). Impacts of short-term germination on the chemical compositions, technological characteristics and nutritional quality of yellow pea and faba bean flours. *Food Research International*, 122(April), 263–272. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.04.021>
- Shang, X., Zhu, Y., Chen, X., Wang, X. D., Rose, R. J., & Song, Y. (2020). Seed oil storage in three contrasted legume species: implications for oil improvement. *Acta Physiologiae Plantarum*, 42(8), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11738-020-03130-z>
- Shin, W. kyoung, Yokoyama, W. H., Kim, W., Wicker, L., & Kim, Y. (2015). Change in texture improvement of low-fat tofu by means of low-fat soymilk protein denaturation. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(5), 1000–1007. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6780>
- Silsin, M., Khongdan, J., Paramita, V. D., & Panyoyai, N. (2021). Effect of partial replacement of soybean with chickpea to the nutritional and textural properties of tofu. *Indonesian Food Science and Technology Journal*, 4(2), 27–31. <https://doi.org/10.22437/ifstj.v4i2.11269>
- Sipeniece, E., Mišina, I., Qian, Y., Grygier, A., Sobieszczńska, N., Sahu, P. K., Rudzińska, M., Patel, K. S., & Górnaś, P. (2021). Fatty Acid Profile and Squalene, Tocopherol, Carotenoid, Sterol Content of Seven Selected Consumed Legumes. *Plant Foods for Human Nutrition*, 76(1), 53–59. <https://doi.org/10.1007/s11130-020-00875-3>
- Skylas, D. J., Johnson, J. B., Kalitsis, J., Richard, S., Whiteway, C., Wesley, I., Naiker, M., & Quail, K. J. (2023). Optimised dry processing of protein concentrates from Australian pulses: A comparative study of faba bean, yellow pea and red lentil seed material. *Legume Science*, 5(1), 1–17. <https://doi.org/10.1002/leg3.161>



- Slininger, P. J., Shea-Andersh, M. A., & Dien, B. S. (2023). Rapid Dilute Sulfuric Acid Hydrolysis of Soy Flour to Amino Acids for Microbial Processes and Biorefining. *Fermentation*, 9(12). <https://doi.org/10.3390/fermentation9121028>
- Smits, M., Verhoeckx, K., Knulst, A., Welsing, P., de Jong, A., Gaspari, M., Ehlers, A., Verhoeff, P., Houben, G., & Le, T. M. (2023). Co-sensitization between legumes is frequently seen, but variable and not always clinically relevant. *Frontiers in Allergy*, 4(March), 1–10. <https://doi.org/10.3389/falgy.2023.1115022>
- Sosa, E. F., Thompson, C., Chaves, M. G., Acevedo, B. A., & Avanza, M. V. (2020). Legume Seeds Treated by High Hydrostatic Pressure: Effect on Functional Properties of Flours. *Food and Bioprocess Technology*, 13(2), 323–340. <https://doi.org/10.1007/s11947-019-02386-9>
- Straits Research. (2023). *Informe de análisis de tendencias, participación y tamaño del mercado de tofu por tipo (tofu sedoso, tofu firme, otros), por aplicaciones (hogares, servicios de alimentación, uso industrial), por canal de distribución (supermercados/hipermercados, tiendas)*. <https://straitsresearch.com/es/report/tofu-market>
- Tamangwa, M. W., Djikeng, F. T., Feumba, R. D., Sylvia, V. T. Z. N., Loungaing, V. D., & Womeni, H. M. (2023). Nutritional composition, phytochemical, and functional properties of six soybean varieties cultivated in Cameroon. *Legume Science*, 5(4), 1–14. <https://doi.org/10.1002/leg3.210>
- Tas, O., Ertugrul, U., Grunin, L., & Oztop, M. H. (2022). An investigation of functional quality characteristics and water interactions of navy bean, chickpea, pea, and lentil flours. *Legume Science*, 4(1), 1–9. <https://doi.org/10.1002/leg3.136>
- Ullah, I., Hu, Y., You, J., Yin, T., Xiong, S., Din, Z. ud, Huang, Q., & Liu, R. (2019). Influence of okara dietary fiber with varying particle sizes on gelling properties, water state and microstructure of tofu gel. *Food Hydrocolloids*, 89(October 2018), 512–522. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.11.006>
- Vivar-Quintana, A. M., Absi, Y., Hernández-Jiménez, M., & Revilla, I. (2023). Nutritional Value, Mineral Composition, Fatty Acid Profile and Bioactive Compounds of Commercial Plant-Based Gluten-Free Flours. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(4). <https://doi.org/10.3390/app13042309>
- Wang, H. J., & Murphy, P. A. (1996). Mass Balance Study of Isoflavones during Soybean Processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 44(8), 2377–2383. <https://doi.org/10.1021/jf950535p>
- Wiederstein, M., Baumgartner, S., & Lauter, K. (2023). Soybean (Glycine max) allergens—A Review on an Outstanding Plant Food with Allergenic Potential. *ACS Food Science and Technology*, 3(3), 363–378. <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.2c00380>



- Xu, M., Jin, Z., Simsek, S., Hall, C., Rao, J., & Chen, B. (2019). Effect of germination on the chemical composition, thermal, pasting, and moisture sorption properties of flours from chickpea, lentil, and yellow pea. *Food Chemistry*, 295(March), 579–587. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.05.167>
- Yang, X., Wang, Y., Hao, M., & Li, L. (2020). Synergistic effect of the lactic acid bacteria and salt coagulant in improvement of quality characteristics and storage stability of tofu. *Journal of Oleo Science*, 69(11), 1455–1465. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20102>
- Zamora, I., & Barboza, Y. (2020). Consumo de alimentos funcionales por estudiantes universitarios Ecuatorianos. *An Venez Nutr*, 33(1), 14–23.
- Zhao, Y. Y., Cao, F. H., Li, X. J., Mu, D. D., Zhong, X. Y., Jiang, S. T., Zheng, Z., & Luo, S. Z. (2020). Effects of different salts on the gelation behaviour and mechanical properties of citric acid-induced tofu. *International Journal of Food Science and Technology*, 55(2), 785–794. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14348>
- Zheng, L., Regenstein, J. M., Teng, F., & Li, Y. (2020). Tofu products: A review of their raw materials, processing conditions, and packaging. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 19(6), 3683–3714. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12640>