

Artículo de investigación

Propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de semillas de vitabosa (*Mucuna deeringiana*)

Techno-functional properties of protein isolates from vitabosa seeds (*Mucuna deeringiana*)

Luis Carlos Bernal Sierra¹✉, Hugo Alfonso Rojas Sarmiento²✉ y Sandra Patricia Chaparro Acuña²✉

¹Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia

²Grupo de Catálisis. Escuela de Ciencias Químicas. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tunja, Colombia

Recepción: 10-marzo-2025 **Aceptado:** 20-junio-2025 **Publicado:** 20-julio-2025

Cómo citar: Bernal Sierra, L. C. , Rojas Sarmiento, H. A., & Chaparro Acuña, S. P. (2025). Propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de semillas de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). *Ciencia En Desarrollo*, 16(2)). doi: 10.19053/uptc.01217488.v16.n2.2025.19333

Resumen

La semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) se caracteriza por su alto contenido proteico y la presencia de compuestos bioactivos, lo que la convierte en una alternativa prometedora como fuente no convencional de proteínas. Su aprovechamiento en la industria alimentaria puede contribuir al desarrollo de ingredientes funcionales y sostenibles. En este trabajo se llevó a cabo la extracción de los aislados proteicos de la semilla de vitabosa (*Mucuna deeringiana*) y se determinaron las propiedades funcionales de éstos con el fin de analizar la viabilidad de su uso como ingrediente alimentario. Se realizó la caracterización proximal de la semilla, se determinó el punto isoeléctrico y el de mayor solubilidad de las proteínas de la harina desengrasada, se extrajeron los aislados proteicos y se evaluaron sus propiedades funcionales. La semilla presentó una composición de humedad de 11.2 %, materia seca de 88.8 %, proteína cruda de 24.9 %, grasa cruda de 2.75 %, cenizas de 7.98 %, fibra cruda de 8.77 % y extracto libre de nitrógeno de 44.5 %. El punto isoeléctrico fue a pH 4 y el de mayor solubilidad de las proteínas fue a pH 10. En la extracción de aislados proteicos se obtuvo con un rendimiento del 35.8 %. La capacidad de absorción de agua de los aislados proteicos fue 1.32 mL/g; la capacidad de absorción de lípidos fue 1.57 mL/g; la capacidad emulsificante de 32.6 %; la estabilidad de la emulsión de 51.7 %; la capacidad espumante de 29.4 % y la estabilidad espumante en tiempo inicial del 29.4 % y tiempo final de 17.7 % (5 horas). Se observó formación de un gel sólido a una concentración de aislado proteico de 6 % p/v lo que es un resultado relevante comparado con otros estudios. Este aislado puede ser usado como un ingrediente multifuncional en la producción de diversos alimentos debido a sus propiedades funcionales dentro de las que se destaca la capacidad de gelificación y la estabilidad emulsificante.

Palabras Clave: Aislados proteicos; análisis proximal; capacidad emulsificante; leguminosas; semillas; vitabosa (*Mucuna deeringiana*).

Abstract

The vitabosa seed (*Mucuna deeringiana*) is characterized by its high protein content and the presence of bioactive compounds, making it a promising alternative as a non-conventional protein source. Its utilization in the food industry may contribute to the development of functional and sustainable ingredients. In this study, protein isolates were extracted from vitabosa (*Mucuna deeringiana*) seeds, and their functional properties were evaluated to assess their potential application as a food ingredient. A proximate characterization of the seed was performed, the isoelectric point and the pH of maximum protein solubility from defatted flour were determined, protein isolates were extracted, and their functional properties were assessed. The seed composition was 11.2 % moisture, 88.8 % dry matter, 24.9 % crude protein, 2.75 % crude fat, 7.98 % ash, 8.77 % crude fiber, and 44.5 % nitrogen-free extract. The isoelectric point was found at pH 4, and maximum protein solubility was observed at pH 10. Protein isolate extraction was achieved with a yield of 35.8 %. The water absorption capacity of the isolates was 1.32 mL/g, the oil absorption capacity was 1.57 mL/g, the emulsifying capacity was 32.6 %, and the emulsion stability was 51.7 %. The foaming capacity was 29.4 %, with an initial foam stability of 29.4 % and a final stability of 17.7 % after 5 hours. A solid gel was formed at a protein isolate concentration of 6 % w/v, which is a significant result compared to other studies. Given their functional properties, particularly their gelling ability and emulsion stability, these protein isolates could be used as multifunctional ingredients in the production of various food products.

Keywords: Protein isolates, proximal analysis; emulsifying capacity; legumes; seeds, vitabosa (*Mucuna deeringiana*).

1. Introducción

La vitabosa o *Mucuna deeringiana* está dentro de la familia de las leguminosas (*Leguminosae*) y es una planta que proviene del este de la India y del sur de China, que se ha difundido ampliamente en países de África, Asia, Suramérica y Centroamérica [1]. La vitabosa es una herbácea anual tipo enredadera [2] que, debido a sus características agroclimáticas, presenta un crecimiento vigoroso en países tropicales y ha sido parte de comunidades rurales que han aprovechado sus beneficios para sistemas de producción alternativos llegando a convertirse en un legado cultural agronómico en el sector rural [3]. Es una planta con potencial en la rotación y mejoramiento de cultivos ya que fija nitrógeno en el suelo ayudando a controlar la erosión, además, incentiva la eliminación de malezas y puede producir abono verde [4].

La *Mucuna deeringiana* reporta un elevado contenido nutricional (proteína: 38.2 %, carbohidratos: 45.2 % y fibra cruda: 5.7 %) [5]. Las semillas contienen una alta cantidad de proteína (23-43 %) [2] que puede ser aprovechada en la elaboración de alimentos balanceados para animales o en la industria alimentaria como ingrediente funcional [5]. La disponibilidad y digestibilidad de los aminoácidos que hacen parte de una proteína son claves para determinar la calidad de ésta [6], factor relevante para cualquier formulación dietética humana o animal. En la vitabosa se destaca el contenido de glutamina y ácido glutámico (180 mg/g proteína cruda), prolamina (161 mg/g proteína cruda), asparagina y ácido aspártico (126 mg/g proteína cruda), isoleucina (97.2 mg/g proteína cruda), leucina (90.8 mg/g proteína cruda), arginina (90.5 mg/g proteína cruda), valina (75.9 mg/g proteína cruda), lisina (66.5 mg/g proteína cruda), serina (63.5 mg/g proteína cruda), fenilalanina (62.1 mg/g proteína cruda) y treonina (61.1 mg/g proteína cruda). La digestibilidad de la proteína *in vitro* está en 84.2 %, rango más alto que lo observado en otras leguminosas (63-80 %) [7]. Adebowale *et al.* [8] encontraron en la semilla de vitabosa minerales como sodio (3.86 mg/100 g), potasio (361 mg/100 g), calcio (408 mg/100 g), magnesio (72.6 mg/100 g), fósforo (607 mg/100 g), hierro (17.6 mg/100 g) y zinc (6.08 mg/100 g). Las leguminosas de esta especie son fuente de potasio, fósforo y calcio.

Teniendo en cuenta la composición química y nutricional de la *M. deeringiana*, esta leguminosa puede ser investigada como una fuente alternativa de proteína que ayude a disminuir la desnutrición en la población de bajos recursos y como ingrediente clave en la formulación de alimentos. Por consiguiente, es de creciente interés el desarrollo de procesos químicos que permitan extraer los aislados proteicos de la vitabosa para su uso potencial en distintos productos, de acuerdo con sus propiedades fisicoquímicas, funcionales y biológicas [9]. Estas investigaciones están alineadas con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente con el ODS 2 (Hambre Cero) y el ODS 12 (Producción y consumo responsables), al promover el aprovechamiento de fuentes proteicas sostenibles y el desarrollo de tecnologías que fortalezcan la seguridad alimentaria. Actualmente en Colombia, la semilla de *M. deeringiana* es una fuente proteica alternativa que es subutilizada por el poco conocimiento sobre su potencial nutricional, sus propiedades medicinales y posibles procesos de producción para revalorizarla [1].

El consumo de alimentos proteicos derivados de la carne incrementa la posibilidad de enfermedades crónicas, por lo tanto, las proteínas vegetales son una alternativa más sana para la producción de subproductos nutritivos [10]. Es por esto por lo que, actualmente, la sección de Investigación y Desarrollo de las empresas de alimentos buscan nuevas fuentes de proteína incluyendo las provenientes de leguminosas debido a su contenido de aminoácidos esenciales, fibra cruda, vitaminas, minerales y con bajo contenido calórico para la elaboración de análogos de la carne [11]. Los aislados proteicos son una alternativa diferente y potencial para revalorizar esta leguminosa que presenta una cantidad significativa de proteína, pues los aislados se pueden usar en la formulación de alimentos gracias a las propiedades tecno-funcionales que pueden tener [12, 13]. La fracción proteica aislada de origen vegetal pueden obtenerse mediante solubilización en medios alcalinos, utilizando la curva de solubilidad para identificar el punto isoelectrico (pI) [14, 15]. Esta técnica es ampliamente utilizada debido a su facilidad de implementación y al alto rendimiento de proteína que permite obtener. Además, facilita la separación eficiente de compuestos no proteicos, como lípidos, azúcares, fibra y otros componentes no deseados en el producto final [16].

Las propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos dependen del tamaño molecular, distribución de carga y estructura tridimensional de las proteínas que la conforman lo que también depende de la fuente de este macronutriente [17]. Las propiedades tecno-funcionales importantes de las proteínas en los alimentos incluyen la capacidad de absorción de agua y de lípidos, la capacidad gelificante, actividad emulsificante y la formación de espuma [18-21]. Se han evaluado propiedades tecno-funcionales de leguminosas como el frijol común (*Phaseolus vulgaris* Pinto Group) [22], frijol (*Phaseolus vulgaris* L.) [23-25], frijol caupí (*Vigna unguiculata* L. Walp) [26] soya [27, 9], habas [28], lentejas [29, 30], frijol de arroz (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi et Ohashi) [31] y frijol mungo (*Vigna radiata*) [32, 33], entre otros. Sin embargo, ningún estudio ha explorado las propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa. Este artículo tiene como objetivo contribuir al estudio de las características nutricionales y tecno-funcionales de los aislados proteicos extraídos de la vitabosa (*Mucuna deeringiana*), con el fin de evaluar el efecto de la concentración de cloruro de sodio (NaCl) en el proceso de extracción de los aislados obtenidos. Asimismo, busca aportar al limitado conocimiento existente sobre las propiedades y el potencial de las proteínas presentes en semillas de frutos tropicales [34].

2. Materiales y métodos

2.1. Caracterización de las semillas de vitabosa (*Mucuna deeringiana*)

Las semillas de vitabosa fueron obtenidas en Gigante-Huila (Colombia) y se adquirieron 3000 g de materia prima, que luego fue sometida a un proceso de limpieza, lavado con agua potable, selección y clasificación. Una porción de la muestra (30 g) fue separada para el análisis de humedad (método oficial 925.01 modificado de la AOAC) [35]. El resto de muestra fue llevada a un horno (VEB MLW LABORTECHNIK,

Alemania) para su secado a 50°C por 72 horas. Seguidamente, se realizó una reducción de tamaño en un molino de martillos y se procedió a pulverizar las semillas mediante un molino eléctrico (High Speed Multifunction GRINDER 850w) y, finalmente, se tamizó la harina obtenida (tamaño de partícula de 0.5 mm), la cual se almacenó en bolsas plásticas con cierre hermético a temperatura ambiente para análisis posteriores. Se llevó a cabo un análisis proximal de las semillas de *M. deeringiana* que incluyó proteína (método oficial 960.52 modificado), grasa cruda (920.39 C modificado), cenizas (923.03), fibra bruta (962.09 modificado), humedad (925.10 modificado) y carbohidratos (por diferencia) según los métodos oficiales de la AOAC [35]. Cada análisis se realizó por triplicado en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia y en el laboratorio del Grupo de Catálisis de la UPTC.

2.2. Determinación del punto isoelectrico (pI) de las proteínas de la vitabosa y extracción de los aislados proteicos

La determinación del pI se estableció a partir de la harina de vitabosa almacenada la cual fue desengrasada mediante el método de Soxhlet usando como solvente n-hexano.

Curva de solubilidad y Punto isoelectrico (pI): Para efectuar la extracción de los aislados proteicos es necesario determinar el punto isoelectrico de las proteínas presentes en la harina de vitabosa, el cual es el pH al cual precipita la mayor cantidad de proteína en una muestra, es decir, es el pH en el que las proteínas son menos solubles, para esto se realizó la curva de solubilidad según la metodología modificada de Serpa *et al.* [36]. Para elaborar la curva de solubilidad de las proteínas de vitabosa, se suspendieron 1.5g de harina desengrasada en 10 mL de agua destilada, preparando seis tubos para cada pH (2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0 y 12.0) con soluciones de NaOH y HCl 0.1 N. Las muestras se agitaron durante 1 hora en un agitador orbital (ORBIT 1900). y se centrifugaron a 4000 rpm durante 20 minutos (UNIVERSAL 32 R, Hettich) para separar las proteínas del resto de la mezcla. El sobrenadante fue filtrado y se tomó 1 mL para la determinación del contenido proteico mediante espectrofotometría UV-Vis [36, 16].

El contenido proteico se determinó mediante el método de Biuret [37]. Para la curva de calibración, se prepararon soluciones estándar de albúmina de huevo (Sigma-Aldrich, 98 %) a concentraciones de 3, 6, 9, 12, 15 y 18 mg/mL, las cuales se trataron con 3 mL de reactivo de Biuret y se incubaron durante 20 min en baño de agua a 37 °C hasta desarrollar la coloración violeta característica. La absorbancia se midió a 540 nm en un espectrofotómetro UV-Vis (Evolution 300, Thermo Fisher Scientific, lámpara de xenón). La curva de calibración se construyó graficando absorbancia frente a concentración proteica.

Teniendo en cuenta que la fuerza iónica incentiva la desnaturación de las proteínas y afecta su coagulación [38, 39] se elaboró una curva de solubilidad con cloruro de sodio al 0.1 y 0.5 % p/v para ver el efecto de la sal en la extracción de la proteína de la vitabosa. El pH que reflejó menor cantidad de proteína fue establecido como el punto isoelectrico para ex-

traer los aislados proteicos y el pH con mayor concentración se estimó como el pH de solubilidad de esta biomolécula [38].

Obtención de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa: Para la obtención de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa se mezclaron 30 g de la harina con 250 mL de solución salina NaCl 0.1 % p/v, concentración seleccionada a partir de una curva de solubilidad elaborada previamente con soluciones de NaCl al 0.1 % y 0.5 % p/v, en la cual se observó que la extracción proteica era más eficiente con la menor concentración. Se homogenizó la muestra por 20 minutos en el agitador orbital ORBIT 1600 y se procedió a ajustar la suspensión a pH de solubilidad con NaOH 0.1 N. Posteriormente, se agitó por 30 minutos y se filtró la solución, luego se ajustó nuevamente el pH al punto isoelectrico de la proteína, se agitó durante 30 minutos y se centrifugó a 4000 rpm durante 20 min. El precipitado obtenido que corresponde al aislado proteico se secó a 25 °C durante 72 h [16]. El rendimiento se halló teniendo en cuenta el peso de muestra (harina desengrasada) usada para realizar la extracción del aislado y la cantidad de aislado obtenido.

2.3. Propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa

2.3.1. Capacidad de absorción de agua (CAA)

Para determinar la CAA se siguió el método de Beuchat [40], el cual indica tomar un gramo de muestra y mezclarse con 10 mL de agua destilada. Luego los tubos permanecieron en reposo a temperatura ambiente (25 °C) por 30 min después de lo cual se centrifugaron a 3000 rpm por 30 min (centrifuga UNIVERSAL 32 R-Hettich). Se reportó el volumen del sobrenadante que fue medido usando una probeta de 10 mL. Adicionalmente, se llevó a cabo un estudio para determinar la influencia de la fuerza iónica sobre la CAA modificando la fuerza iónica del medio usando soluciones de NaCl a 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0 M. Se empleó la molaridad (mol/L) como unidad de concentración debido a que representa con precisión el número de moles de soluto por litro de solución, permitiendo una correlación directa con la fuerza iónica del medio. Los estudios se realizaron por triplicado. Para los aislados proteicos se trabajó con NaCl a diferentes concentraciones y en la sal común la Molaridad coincide con la fuerza iónica [41].

2.3.2. Capacidad de absorción de lípidos (CAL)

Para el cálculo de la CAL se siguieron los lineamientos del método de Beuchat [16, 40] para lo cual se tomó 1 g de muestra y se mezcló con 10 mL de aceite de soya al 100 % (Marca Solisoya) durante 30 s. Luego las muestras permanecieron en reposo a temperatura ambiente (25 ± 2°C) por 30 min después de lo cual se centrifugaron a 3000 rpm por 30 min. Se reportó el volumen del sobrenadante y por la diferencia con el volumen inicial añadido de aceite, se expresó la CAL como los mL de aceite absorbidos por g del aislado proteico (mL/g) [42].

2.3.3. Propiedades emulsificantes

La capacidad (CEm) y estabilidad emulsificante (EEm) se determinaron empleando el método modificado de Neto *et al.* [42], para lo cual se tomaron 5 mL de una dispersión de aislado proteico en agua destilada (10 mg/mL) y se homogenizaron con 5 mL de aceite de soya (Marca Solisoya) durante 1 min. Las emulsiones se centrifugaron a 1100 rpm por 5 min y se midió el volumen de la capa emulsificada y el volumen total del tubo (diámetro: 1 cm, altura: 11 cm). Para lograr la emulsión se modificó el método mencionado y se sometió a agitación continua por 5 minutos mediante un vórtex (VORTEX V-1 PLUS BOECO) y, posteriormente, se terminó de emulsificar con un mini batidor eléctrico. La capacidad emulsificante (CEm) fue calculada según la Ec. 1.

$$CEm(\%) = \frac{\text{altura emulsión (mm)}}{\text{altura total (mm)}} \times 100 \quad (1)$$

Para calcular la estabilidad de la emulsión (EEm) se calentó la dispersión a 80 °C durante 30 min, luego se procedió a centrifugar a 1100 rpm por 5 min y se midió la altura de la capa emulsificada después del calentamiento (h_2) y se aplicó la Ec. 2, teniendo en cuenta la altura de la capa emulsificada antes del calentamiento (h_1) [42].

$$(\%) = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \quad (2)$$

Se llevó a cabo un estudio para evaluar la capacidad emulsificante de los aislados proteicos de la semilla de vitabosa a diferentes concentraciones (2, 4, 6, 8, 10 y 12 % p/v) con el fin de seleccionar la mejor condición para llevar a cabo la EEm.

2.3.4. Propiedades espumantes

Para la determinación de la capacidad (CEs) y estabilidad espumante (EEs) de los aislados proteicos de la semilla de vitabosa se aplicó el método de Neto *et al.* [42] para lo cual se pesó 1 g de aislado proteico que fue disperso en 100 mL de agua destilada. Esta dispersión se batió vigorosamente por 2 min usando una licuadora (Marca OSTER). Se registraron los volúmenes antes V_1 y después del mezclado V_2 [43, 44] y se calculó el incremento usando la Ec. (3).

$$CEs(\%) = \frac{V_2(mL) - V_1(mL)}{V_1(mL)} \times 100 \quad (3)$$

La estabilidad espumante (EEs) fue calculada como el porcentaje de la espuma que permanece luego de 5 h en reposo.

2.3.5. Capacidad gelificante (CG)

La capacidad gelificante de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa se determinó usando el método de Coffman y García [43]. Para lo cual se prepararon dispersiones de los aislados proteicos de *M. deeringiana* en un rango de 2-20 % p/v en agua destilada. Luego, se tomaron 10 mL de cada suspensión y se sometieron a calentamiento en un baño de agua en ebullición durante 1 hora, luego de lo cual se redujo

la temperatura con agua fría hasta 4 °C y se mantuvieron así durante 2 horas. La mínima concentración que presentó gelificación fue tomada cuando el tubo se invirtió y su contenido no resbaló [43]. Se registró la mínima concentración que presentó gelificación.

2.3.6. Análisis estadístico

Para el análisis estadístico de los datos, los resultados fueron expresados como la media de tres determinaciones independientes y se reportó la desviación estándar como medida de dispersión. Además, se estableció una prueba de comparación múltiple (diferencia mínima significativa de Fisher), con un nivel de significancia del 5 %, usando las herramientas de Excel.

3. Resultados y discusión

3.1. Análisis proximal de la harina de vitabosa

El análisis proximal es una herramienta relevante para determinar los componentes macro de un alimento, permitiendo evaluar el posible potencial de material vegetal, semillas y residuos derivados de la industria del procesamiento de frutas y vegetales [45]. En la Tabla 1 se muestran los resultados obtenidos en el análisis proximal de la harina de vitabosa y compara con otro estudio encontrado en la literatura [46].

Tabla 1: Composición proximal (%) comparada con Chaparro *et al.* [46]

Análisis	Porcentaje (%)	
	Valores obtenidos en este estudio	Chaparro <i>et al.</i> [46]
Humedad	11.2 ± 0.19	12.6
Materia seca	88.8 ± 0.19	87.4
Proteína cruda	24.9 ± 0.25	29.2
Grasa bruta	2.75 ± 0.08	2.37
Cenizas	7.98 ± 2.58	3.89
Fibra cruda	8.77 ± 0.19	7.37
Extracto libre de nitrógeno (ELN)	44.5 ± 0.52	44.6

Los resultados se expresan como la media de determinación por triplicado ± la desviación estándar de las mediciones de cada análisis

La humedad es un parámetro clave para determinar la estabilidad de un producto o alimento, ya que hay una relación entre el contenido de agua de éste y su deterioro [45]. Se ha reportado que para las semillas que pertenecen al género *Mucuna* la humedad es más baja que la de otras leguminosas, sin embargo, los resultados de la *M. deeringiana* (11.2 %) son superiores que la *M. Pruriens*, (4.64 %), *M. deeringiana* (4.46 %) [8], *Brassica carinata* (8.90 %) [47], *Cassia floribunda*, (6.01 %) [48], *Lathyrus martimus* (9.70 %) [49] y harina de semillas de maracuyá (2.30 %) [34], pero es inferior al reportado para la harina de vitabosa (12.6 %) [46]. El alto contenido de humedad en *Mucuna deeringiana* sugiere una vida útil más corta respecto a otras semillas, al aumentar el riesgo de deterioro microbiológico, químico y enzimático [39]. Este parámetro varía según las condiciones de cosecha, almacenamiento y procesamiento [50], e influye directamente en

la calidad, conservación y facilidad de manejo del material vegetal. En general, un menor contenido de humedad mejora la estabilidad y reduce el riesgo de degradación. En el ámbito industrial, este factor también es determinante en procesos de revalorización de subproductos [51].

Las proteínas son esenciales para los procesos fisiológicos celulares y representan un parámetro clave en la valorización de residuos vegetales, especialmente por su relevancia en la formulación de ingredientes con propiedades funcionales y sensoriales en la industria alimentaria [44, 51]. La semilla de vitabosa presenta un contenido proteico del 24.9 %, superior al de semillas como mango (6.39 %) [44], arroz pulido (6.29 %), maíz (8.80 %) y café (14.6 %) [52], aunque inferior al de maracuyá (28.5 %) [34] y *Lupinus angustifolius* (33.9 %) [53]. Este valor también es menor al reportado para la harina de vitabosa (29.2 %) [46], pero comparable al de leguminosas como frijol mungo (24.0 %), lenteja (25.1 %), frijol caupí (24.1 %), haba (24.9 %), frijol guandul (19.2 %) y guisante (18.2 %) [51].

Los lípidos, principalmente triglicéridos, junto con fosfolípidos y ceras, forman una fracción importante de los compuestos energéticos presentes en alimentos, suelen extraerse comúnmente mediante el método de Soxhlet [45]. El contenido de grasa (2.75 %) es bajo comparado con el contenido de las semillas de guanábana (24.3 %) [16, 55], semillas de *M. pruriens* (9.65 %) [8] y semillas de mango (10.7 %) [44], que tienen alto contenido de lípidos. Debido al contenido bajo de grasa se puede decir que estas semillas no son una fuente significativa de aceite.

La fibra cruda comprende el conjunto de polisacáridos presentes en los tejidos vegetales que, junto con la lignina, resisten la digestión por las enzimas del tracto gastrointestinal humano [45]. El valor de fibra cruda (8.77 %) es inferior a la registrada para la semilla de *Lupinus angustifolius* (39.9 %) [53], harina de colza (29.5 %) [56] semillas de maracuyá (37.7 %) [34] y harina de *B. carinata* (31.8 %) [47] pero mayor a los registrados para las semillas de mango (2.38 %) [44]. Según los lineamientos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y la Organización mundial de la Salud (WHO) se recomienda un consumo de fibra cruda de 22 a 24 g por cada 1000 kcal de ingesta energética [57], por lo tanto, los resultados de este estudio indican que la fibra de la vitabosa es adecuada e importante para insertarla a la dieta de los humanos y animales. El consumo de alimentos ricos en fibra cruda puede contribuir a la disminución del riesgo de enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer. No obstante, un consumo excesivo puede interferir con la absorción de proteínas, sales inorgánicas y minerales esenciales para el funcionamiento del organismo [58]. Aun así, los frutos o semillas con un alto contenido de este macronutriente pueden ser aprovechados en la fortificación de alimentos o en la elaboración de productos integrales.

El contenido de cenizas, que refleja la cantidad de minerales tras la incineración de la materia orgánica, fue de 7.98 % en las semillas de *M. deeringiana*, superando los valores reportados para *M. pruriens* (3.52 %) [59], *B. carinata* (5.23 %) [47], *L. angustifolius* (2.11 %) [53] y maracuyá (2.35 %) [34]. El contenido de cenizas rara vez supera el 5 % en alimentos frescos, en las frutas está entre 0.2 y 1.9 % y su cantidad está

relacionada con diversos factores tales como la calidad del suelo, el uso de fertilizantes y la capacidad de la planta para absorber nutrientes minerales [54].

Los carbohidratos son la principal fuente de energía en los alimentos e imparten varias propiedades texturales relevantes para la industria alimentaria y están compuestos por algunos tipos de compuestos indigeribles como la fibra dietética que influye en los procesos gastrointestinales [54]. El contenido del extracto libre de nitrógeno (ELN) (conformado mayoritariamente por carbohidratos) de la *M. deeringiana* fue de (44.5 %) valor muy similar al reportado para esta misma harina (44.6 %) [46] y para otras leguminosas del género *Mucuna* (43.7-49.7 %); pero es superior al encontrado para *Lupinus angustifolius* (2.74 %) [53], *Salvia hispánica* (28.3 %) [60] e inferior al contenido de las semillas de *Chenopodium pallidicaule* (63.6 %) [61]. Estas diferencias pueden ser el resultado de características agroclimáticas del lugar de siembra, la época del año, el método de cosecha, los factores ambientales, las características genéticas de cada especie y las condiciones de almacenamiento de la semilla [5].

Los resultados obtenidos en la caracterización proximal de la semilla de *Mucuna deeringiana* revelan hallazgos significativos que respaldan su potencial como materia prima para el desarrollo de aislados proteicos con aplicaciones alimentarias; en particular, el contenido de proteína cruda (24.9 %) se encuentra dentro del rango reportado para leguminosas ampliamente utilizadas en la industria, como el frijol mungo, la lenteja y el haba, lo cual sugiere que esta semilla puede ser una fuente viable de proteínas funcionales; además, el alto contenido de extracto libre de nitrógeno (44.5 %), compuesto en su mayoría por carbohidratos, y el nivel apreciable de fibra cruda (8.77 %) confirman su valor nutricional integral, aportando no solo al contenido proteico, sino también a la presencia de componentes que mejoran la salud digestiva y permiten su inclusión en formulaciones alimentarias saludables. Aunque el contenido de grasa es relativamente bajo (2.75 %), lo que descarta su uso como fuente lipídica significativa, esta característica es favorable para la obtención de aislados proteicos con mayor pureza, dado que una menor presencia de lípidos facilita su separación durante el proceso de extracción; del mismo modo, el contenido de cenizas (7.98 %) sugiere una riqueza mineral superior a la de muchas otras semillas, lo cual añade valor nutricional y puede ser aprovechado en el diseño de alimentos funcionales. La humedad de 11.2 %, aunque más elevada que la reportada para otras especies del mismo género, implica un desafío en términos de estabilidad y vida útil; sin embargo, este aspecto también refuerza la necesidad de transformar la semilla mediante procesos de extracción que permitan reducir la actividad de agua y mejorar la conservación del producto. En conjunto, estos resultados no solo sustentan la pertinencia de aplicar un proceso de obtención de aislados proteicos a partir de la *M. deeringiana*, sino que además justifican el interés en su revalorización tecnológica, pues las características físico-químicas identificadas contribuyen a la eficiencia del proceso de extracción y a la calidad funcional del aislado obtenido, cuyas propiedades (capacidad de emulsión, retención de agua y formación de geles) están directamente influenciadas por la composición inicial del material de partida.

3.2. Obtención de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa

3.2.1. Curva de solubilidad y punto isoelectrico (pI)

El punto isoelectrico (pI) de una proteína corresponde al valor de pH en el que su carga neta es cero, es decir, cuando las cargas positivas y negativas se equilibran [39]. En estas condiciones, la proteína tiende a coagularse y precipitar, lo que convierte a este principio en uno de los métodos más utilizados para la extracción de proteínas de origen vegetal [38]. La Figura 1 muestra la variación de la solubilidad a diferentes pH de la harina desengrasada de vitabosa. La curva se construyó con tres soluciones (agua destilada, solución de NaCl 0.1 %p/v y de 0.5 %p/v). No se evidenciaron diferencias significativas entre las soluciones ni los pH ($p > 0.05$) sin embargo, se puede observar que el punto isoelectrico de las proteínas está en pH 4 para las tres soluciones. Cuando el pH es inferior la carga neta de la proteína es positiva, pero si el pH es superior la carga es negativa, en este la mayor solubilidad se registra a pH 10 para las tres soluciones, esto debido a la carga neta que alcanzan las proteínas, lo que es común de las proteínas de fuentes vegetales y que puede ser una limitación cuando se usen como ingredientes alimentarios en productos con pH medio. La solubilidad de las proteínas es útil en alimentos donde se requieren propiedades tecno-funcionales como formación de espuma, gelificación o emulsificación [62].

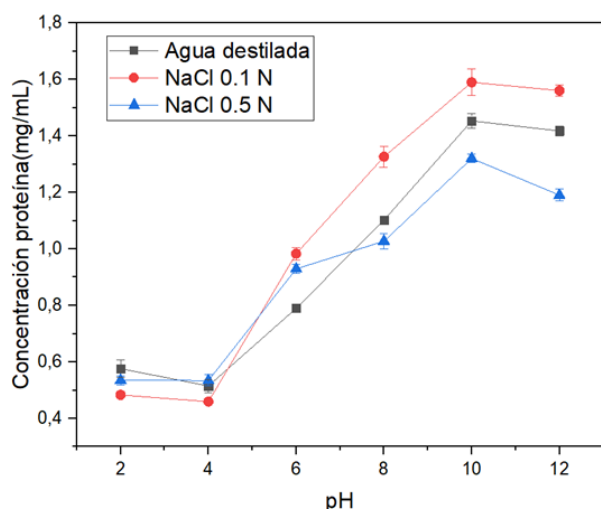


Figura 1: Punto isoelectrico de la harina de vitabosa con agua destilada, solución de NaCl 0.1 %p/v y solución de NaCl 0.5 %p/v.

La proteína de la vitabosa se solubilizó a pH de 10 y el precipitado relacionado con otros componentes fue retirado de la solución, luego se bajó el pH a 4 para precipitar las fracciones proteicas (Figura 1) que se extrajeron y que constituyen el aislado proteico. El punto isoelectrico (pH 4) es el mismo que el registrado para las semillas de Maracuyá [34], *Lupinus angustifolius* [63], concentrado proteico de frijol, haba, arveja [22] y guanábana [16] e inferior a los reportados para Soya (pH 5) [22], *Phaseolus vulgaris* L. (pH 4.5) [25], semillas de

guayaba (pH 5) [64], *Vigna umbellata* (pH 5) [31], *Vigna radiata* (pH 5) [32] y mango (pH 6) [44].

La solubilidad de las proteínas varía con el pH debido a los cambios en su carga neta, lo que afecta su equilibrio electrostático. Cerca de su punto isoelectrico (pI), la carga neta de las proteínas se aproxima a cero, lo que reduce la solubilidad por el incremento de la atracción entre moléculas. A pH alcalinos, las proteínas adquieren una carga neta negativa, posiblemente mayor que la carga neta positiva que presentan en medios ácidos. En consecuencia, en condiciones de pH extremos (ácido o alcalino), predominan las fuerzas repulsivas sobre las atractivas, lo que favorece un aumento en la solubilidad [65]. Se ha evidenciado que las proteínas vegetales que tienen pI a pH ácidos, entre 2 a 4, corresponden a albúminas y globulinas, compuestos que se solubilizan en agua y en soluciones salinas en bajas concentraciones, respectivamente, pero también puede encontrarse glutelinas que se solubilizan a pH por encima de 10, lo que es coherente con el punto de mayor solubilidad de las proteínas de los aislados de vitabosa. Sin embargo, para confirmar esta conjetura resulta necesario llevar a cabo otras pruebas adicionales como la clasificación de proteína de Osborne [44]. La solubilidad de las proteínas es crucial para el uso del producto en la industria alimentaria, ya que es un requisito y se relaciona directamente con otras propiedades como actividad espumante y gelificante [66, 67].

En este contexto, la mayor solubilidad de las proteínas de las semillas de vitabosa a pH 10 permitió optimizar su extracción, obteniéndose el aislado proteico utilizando una solución de NaCl al 0.1 %p/p, que mostró el mayor contenido de proteína soluble. El rendimiento de extracción fue del 35.8 %p/p y el contenido proteico del aislado alcanzó el 63.3 %p/p, un valor competitivo frente a otras fuentes vegetales como la soya (85.4 %p/p), la arveja (79.9 %p/p), el frijol (79.7 %p/p) y el haba (58.1 %p/p) [22, 31]. Estas características fisicoquímicas y nutricionales respaldan el potencial uso del aislado proteico de vitabosa en aplicaciones alimentarias. Los aislados proteicos de origen vegetal ofrecen múltiples aplicaciones en el desarrollo de alimentos gracias a su capacidad para mejorar aspectos nutricionales, funcionales y tecnológicos. Estas proteínas son abundantes, de bajo costo y representan una alternativa más saludable frente a algunos aditivos químicos. Se emplean en una variedad de productos, incluyendo panificados, productos lácteos a base de vegetales, análogos cárnicos y diferentes tipos de emulsiones [68, 69, 70].

3.3. Propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de semillas de *Mucuna deeringiana*

Las proteínas de origen vegetal tienen diversas aplicaciones en la industria alimentaria gracias a sus propiedades tecno-funcionales, las cuales favorecen el desarrollo de características texturales apropiadas durante el procesamiento, almacenamiento y consumo de los alimentos. Entre las propiedades más relevantes para su uso como ingrediente alimentario se encuentran la capacidad de absorción de agua y aceite, así como las propiedades emulsificantes, gelificantes y espumantes. Estas cualidades están determinadas por el contenido y tipo de aminoácidos, la estructura proteica y las interacciones hidrofóbicas e hidrofílicas [71]. En la Tabla 2 se

resumen las propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa.

Tabla 2: Propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de vitabosa (*Mucuna deeringiana*)

Propiedades tecno-funcionales	Valores obtenidos
Capacidad de absorción de agua	1.32 ± 0.03 mL/g
Capacidad de absorción de lípidos	1.57 ± 0.02 mL/g
Capacidad espumante	29.4 ± 0.06 %
Estabilidad espumante	17.7 ± 0.19 %
Capacidad emulsificante	32.6 ± 0.18 %
Estabilidad emulsificante	51.7 ± 0.20 %
Capacidad gelificante	Sí al 6% p/v

3.3.1. Capacidad de absorción de agua

La capacidad de absorción de agua (CAA) hace referencia a la cantidad de agua que las proteínas pueden retener y está estrechamente relacionada con su capacidad de unión al agua [71]. Este parámetro es fundamental para evaluar el desempeño de las proteínas como ingredientes en productos de panadería, derivados cárnicos como embutidos y salchichas, así como en geles alimentarios. Dicha propiedad influye tanto en las condiciones de procesamiento como en la calidad final del producto [65]. La capacidad de absorción de agua (CAA) en la harina desengrasada de vitabosa fue de 1.59 mL/g que es mayor comparada con las semillas de guayaba (1.3 mL/g) [64] y *Phaseolus vulgaris* L. (1.37 mL/g) [25], pero más baja que la obtenida con aislados proteicos de *Lupinus angustifolius* (2.98 mL/g), frijol común (1.8 mL/g), soya (4.52 mL/g) y arveja (4.3 mL/g) [22], *Vigna umbellata* (3.8 mL/g) [31] y *Vigna radiata* (3.3 mL/g) [32]. Un incremento de la fuerza iónica disminuye la absorción de agua, esto puede atribuirse a una menor cantidad de compuestos hidrófilos presentes en la proteína, debido a que la habilidad de absorber agua está estrechamente ligada a los cambios conformacionales que provoca el NaCl en las proteínas [38].

Cuando la fuerza iónica de una solución es alta, las cargas eléctricas de los iones pueden interactuar con las cargas eléctricas en las moléculas de la harina, lo que puede disminuir la capacidad de la harina para absorber agua. Limitando la disponibilidad de sitios activos para unirse al agua. Esto se traduce en masas más firmes y menos elásticas. Por otro lado, cuando la fuerza iónica de una solución es baja, la harina puede absorber más agua, lo que puede resultar en una masa más suave y flexible. Esto puede ser beneficioso en la producción de productos de panadería y pastelería que requieren una textura suave y esponjosa [72].

En general, la harina presenta una mayor capacidad de absorción de agua que los aislados proteicos, debido a su contenido mixto de proteínas, almidón, fibra y lípidos, componentes que también participan en la retención de agua [73]. Esta propiedad funcional es crucial en matrices alimentarias donde se busca viscosidad o esponjosidad [44].

La interacción proteína-agua ocurre principalmente mediante enlaces de hidrógeno, los cuales dependen de la conformación tridimensional de la proteína y de la disposición de sus grupos polares en la superficie. Factores como temperatura,

pH, fuerza iónica entre otros, pueden alterar esta estructura, modificando su afinidad por el agua [65].

En particular, la fuerza iónica afecta las interacciones electrostáticas entre las proteínas y el agua. En este estudio, no se observó una mayor capacidad de absorción de agua (CAA) en ausencia de sal (Figura 2), lo que sugiere que las sales no promovieron dichas interacciones. De hecho, el incremento en la concentración de NaCl (0.2 a 1.0 M) se asoció con una disminución progresiva en la CAA. Esto podría deberse a la naturaleza globular de las proteínas presentes, que tienden a replegarse en medios salinos, ocultando grupos polares hidrofílicos responsables de la retención de agua. En ausencia de sal, estas proteínas mantendrían una estructura más abierta, favoreciendo la formación de enlaces hidrofílicos y puentes de hidrógeno [38, 39].

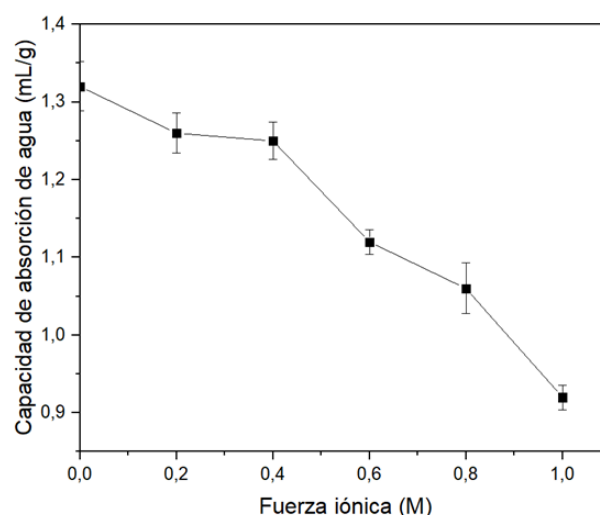


Figura 2: Capacidad de absorción de agua (CAA) del aislado proteico de vitabosa.

3.4. Capacidad de absorción de lípidos (CAL)

La capacidad de absorción de lípidos de los aislados proteicos obtenidos fue de 1.57 mL/g. Este resultado es mayor comparado con la CAL de los aislados proteicos de las semillas de maracuyá (1.40 mL/g) [34], guayaba 1.3 mL/g [64], pero menor que lo hallado en los aislados proteicos de soya (1.9 mL/g), arveja (2.2 mL/g), frijol común (2.84 mL/g) [22], *Vigna umbellata* (4.2 mL/g) [31], *Vigna radiata* (3.8 mL/g) [32], *Phaseolus vulgaris* L. (4.97 mL/g) [25] y *Lupinus angustifolius* (2.65 mL/g) [63].

La capacidad de absorción de lípidos (CAL) es una propiedad funcional clave en alimentos como productos precocidos para fritura, galletas y formulaciones a base de cereales. En este contexto, los aislados proteicos de vitabosa podrían representar una alternativa funcional viable [74]. En el presente estudio, la CAL fue superior a la capacidad de absorción de agua (CAA), lo que sugiere una mayor afinidad de las proteínas por compuestos lipofílicos, atribuida a la prevalencia de interacciones hidrofóbicas proteína-lípido. Este comportamiento está determinado por la conformación estructural de

la proteína, la disposición de aminoácidos hidrofóbicos, el tipo de grasa involucrada y la posible presencia de almidones, que en conjunto modulan la intensidad de estas interacciones [75].

Además, la CAL puede variar según el tipo de harina o aislado y las condiciones de procesamiento y almacenamiento. En términos comparativos, los aislados vegetales como los de soja o guisante, suelen presentar mayor CAL que los de origen animal, como la caseína o el suero lácteo [76].

La CAL también es importante porque las proteínas actúan como retenedoras de compuestos lipofílicos, ayudando a conservar el sabor, mejorar la sensación en boca y aumentar la palatabilidad, lo que favorece la vida útil del producto, especialmente en alimentos horneados o cárnicos. Por estas razones, esta propiedad tecno-funcional es clave para evaluar la viabilidad de incorporar aislados proteicos en distintas formulaciones alimentarias [21, 78]. En este sentido, los aislados proteicos obtenidos de las semillas de vitabosa presentan una CAL de nivel bajo en comparación con otras semillas, lo que los hace adecuados para este tipo de aplicaciones.

3.5. Propiedades emulsificantes

Las proteínas vegetales evidencian propiedades emulsificantes, las cuales se relacionan con la capacidad de estabilizar las mezclas de aceite-agua, reduciendo la tensión entre fases y la separación de éstas [79]. La capacidad emulsificante del aislado proteico de la semilla de *M. deeringiana* se evaluó a diferentes concentraciones donde la mayor CEm se obtuvo al 2 %p/v (32.6 %) (Figura 3). Este resultado es más bajo que lo reportado para la soja (43.7 %) [9] y la *Brassica carinata* (75.6 %) [47]. Generalmente, los aislados proteicos tienen una mayor capacidad emulsificante que su harina debido a que durante el proceso de aislamiento se eliminan las sustancias no proteicas, como los lípidos y los carbohidratos, que pueden afectar negativamente la capacidad emulsificante del aislado. Las proteínas desempeñan un papel fundamental como agentes emulsificantes, al mantener el equilibrio entre regiones hidrofóbicas e hidrofílicas en la interfaz aceite-agua. Estas macromoléculas se orientan en dicha interfaz de forma que sus regiones hidrofóbicas interactúan con la fase lipídica, mientras que las regiones hidrofílicas se dirigen hacia la fase acuosa, lo que permite reducir la tensión superficial y formar una capa protectora que estabiliza la emulsión, evitando la coalescencia de las fases [79]. Al igual que otras propiedades tecno-funcionales, tanto la capacidad emulsificante (CEm) como la estabilidad emulsificante (EEm) están influenciadas por factores como la temperatura, el pH, la concentración proteica y las condiciones del entorno iónico [80]. Asimismo, estas propiedades interfaciales dependen de la naturaleza intrínseca de la proteína como su solubilidad, hidrofobicidad superficial, y la composición y tipo de aminoácidos presentes [65].

Las propiedades emulsificantes son esenciales en la formulación y estabilización de diversas emulsiones alimentarias, incluyendo productos batidos, salsas como la mayonesa, embutidos cárnicos y postres congelados [77]. En este contexto, los aislados proteicos obtenidos de semillas de *M. deeringiana*

presentan características emulsificantes adecuadas, lo que sugiere su potencial aplicación en la industria alimentaria para la elaboración y procesamiento de este tipo de productos.

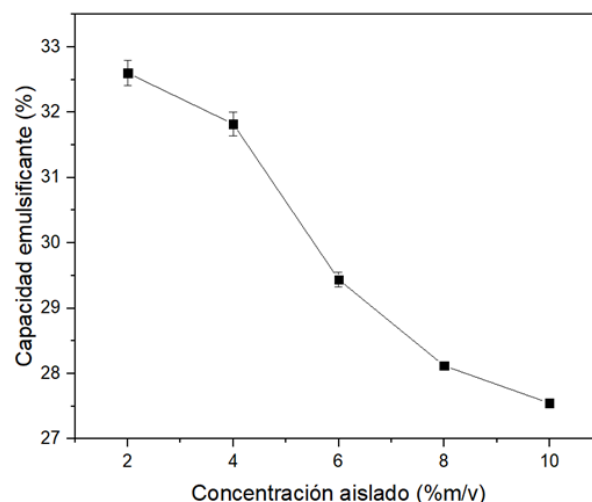


Figura 3: Capacidad emulsificante del aislado proteico de la vitabosa a diferentes concentraciones.

3.6. Estabilidad de la emulsión

La estabilidad de la emulsión (EEm) del aislado proteico fue de 51.7 %, que es superior a la registrada para la Soja (45.7 %) [9] y para *B. carinata* (33 %) [47]. La estabilidad de la emulsión es un aspecto crítico en la industria alimentaria, especialmente en la producción de productos como aderezos para ensaladas, mayonesa, margarina, cremas, entre otros. La inestabilidad de la emulsión puede provocar la separación de fases, lo que resulta en una mala apariencia, textura y sabor, así como en una vida útil más corta del producto. Para garantizar la estabilidad de la emulsión, se utilizan varios enfoques en la industria alimentaria. Uno de los enfoques es la selección cuidadosa de los emulsionantes adecuados, que son compuestos químicos que se agregan a la emulsión para estabilizarla. Los emulsionantes pueden ser proteínas, como la caseína, la soja, la gelatina, la albúmina del huevo, y otros compuestos como la lecitina y los ésteres de ácidos grasos [81]. La evaluación de la estabilidad de las emulsiones es un aspecto clave en la industria alimentaria. Entre los métodos más utilizados se encuentran la medición del tamaño de partícula, la observación visual y la cuantificación de proteínas en la fase acuosa. La elección del método más adecuado dependerá del tipo de emulsión, del propósito específico del análisis y de la disponibilidad de equipos de medición [82]. En resumen, la estabilidad de la emulsión es un aspecto crítico en la producción de muchos productos alimentarios, y se utilizan varios enfoques para garantizar la estabilidad de la emulsión, incluyendo la selección cuidadosa de los emulsionantes adecuados, la optimización de las condiciones de procesamiento y la evaluación de la estabilidad de la emulsión.

3.7. Propiedades espumantes

Las proteínas vegetales tienen la capacidad de desplegarse y formar una capa interfacial que atrapa aire, dando lugar a la formación de espumas [71]. Estas estructuras son relevantes debido a su presencia en una amplia variedad de alimentos. La evaluación de las propiedades espumantes permite determinar la viabilidad de utilizar proteínas provenientes de distintas fuentes como ingredientes funcionales en formulaciones alimentarias [65]. La capacidad espumante (CEs) que se logró determinar para los aislados proteicos de vitabosa fue del 29.4 %, valor más bajo que lo reportado para aislados proteicos de *Lupinus angustifolius* (116 %) [63], *Vigna umbellata* (125 %) [31], *Vigna radiata* (80 %) [32], *Phaseolus vulgaris* L. (90.0 %) [25], soya (75 %), arveja (88 %), fríjol (70 %) y haba (90 %) [22]. La formación de espuma depende de la cantidad y calidad de las proteínas presentes en la matriz alimentaria, así como de su capacidad para desnaturizarse y reducir la tensión superficial en la interfase aire-líquido [62]. Sin embargo, la capacidad espumante del aislado proteico de la vitabosa muestra un bajo rendimiento comparado con otros aislados, lo cual podría estar relacionado con una menor proporción de proteínas globulares flexibles, como las albúminas, o con una conformación estructural más rígida que limita su capacidad de desnaturización y adsorción en la interfase aire-líquido [38].

3.8. Estabilidad Espumante (EEs)

La EEs se determina midiendo la pérdida de volumen de la espuma a través del tiempo [75]. La Figura 4 explica la estabilidad espumante para el aislado proteico de vitabosa que se determinó en función del tiempo a condiciones naturales de ambiente, se dejaron en reposo las tres probetas y se registró el volumen de disminución conforme pasaba el tiempo. Durante los primeros 90 minutos, la espuma mantuvo un 29.4 % de su volumen respecto al volumen inicial. A los 100 minutos, este valor disminuyó al 25.9 %. Entre los 120 y 160 minutos, el volumen se estabilizó en un 23.5 %, y al minuto 180 descendió a un 20.6 %. Finalmente, entre los 200 y 300 minutos, se observó un volumen del 17.6 % en relación con el valor inicial. Estos resultados son más bajos que los reportados para aislados proteicos de *Lupinus angustifolius* cuya estabilidad espumante es de 92.8 % por 120 minutos [63], *Vigna umbellata* (80 % después de 120 min) [31], *Vigna radiata* (75 % después de 60 min) [32], soya (76 % en 60 min), arveja (97 % en 60 min), fríjol (98 % en 60 min) y haba (98 % en 60 min) [22].

Las espumas alimentarias son dispersiones de gas en una fase líquida o semisólida, cuya estabilidad depende de la presencia de agentes tensioactivos, como las proteínas, que actúan formando una barrera protectora alrededor de las burbujas de gas atrapadas. La capacidad de formación de espuma está asociada a la rapidez con la que ésta se genera, mientras que la estabilidad de la espuma (EEs) depende de las propiedades de la película interfacial, la distribución del tamaño de las burbujas, la temperatura, la tensión superficial, la viscosidad de la fase continua y la naturaleza de la fase dispersa, todos ellos factores clave para mantener la integridad del sistema [65]. La capacidad espumante está

influenciada por la velocidad de adsorción, la flexibilidad molecular y la hidrofobicidad de las proteínas, mientras que la EEs está relacionada con las propiedades reológicas de la película que estas forman en la interfaz. Dado que las proteínas vegetales presentan una diversidad de composiciones de aminoácidos y estructuras conformacionales, sus propiedades espumantes dependen de la interacción específica entre sus componentes en la interfaz [39]. Además, la capacidad espumante (CEs) se asocia a la flexibilidad de las moléculas proteicas, la capacidad para reducir la tensión superficial y a una alta concentración de proteínas globulares organizadas, que limitan la desnaturización superficial, fenómeno que disminuye la formación de espuma [75]. Las proteínas solubles, en particular, contribuyen eficazmente a reducir la tensión superficial entre las burbujas de aire y el líquido circundante [16].

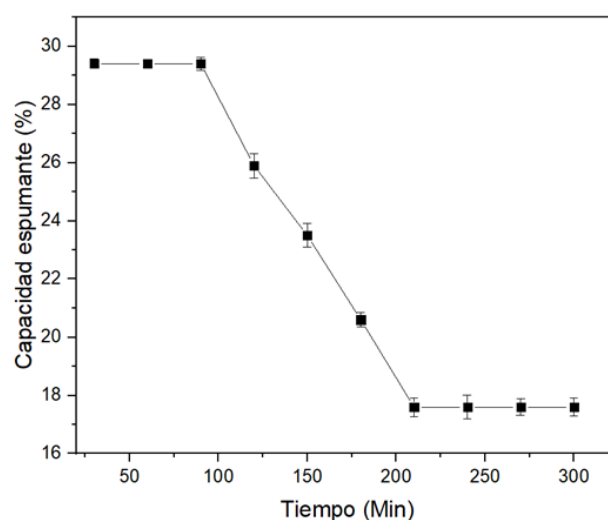


Figura 4: Estabilidad espumante del aislado proteico de vitabosa.

La formación de espumas tiene múltiples aplicaciones en la industria alimentaria, como en coberturas batidas, productos de repostería (merengues, pasteles), panes con levadura, cremas batidas, pastas, helados y bebidas como la cerveza [71]. No obstante, los aislados proteicos obtenidos de semillas de vitabosa presentan una capacidad espumante (CEs) y una estabilidad espumante (EEs) relativamente bajas, lo que limita su aplicabilidad en estos productos dentro del sector alimentario.

3.8.1. Capacidad gelificante

En la Tabla 3 se evidencia la capacidad gelificante del aislado proteico de la vitabosa. La concentración mínima requerida para que se forme un gel sólido se observa al 6 % p/v, pues se observó una estructura firme, con buena cohesión y no hay liberación de líquido. Estos resultados son buenos comparados con los reportados para aislados proteicos de *Lupinus angustifolius* que forma gel a una concentración de 11 % p/v [63], *Vigna umbellata* (8 % p/v) [31], soya (14 %p/v), arveja (18 %p/v), fríjol común (20 %p/v), haba (12 %p/v) [22] y *Vigna*

radiata (10 % p/v) [32]. La capacidad gelificante (CG) hace referencia a la habilidad de las proteínas para formar una red tridimensional que inmoviliza las moléculas de líquido, dando lugar a un coloide semisólido con propiedades mecánicas específicas. Esta red se forma mediante interacciones covalentes y no covalentes entre los grupos funcionales de los residuos aminoácidos presentes en la proteína. Por tanto, esta propiedad tecno-funcional depende tanto de las interacciones proteína-proteína, que permiten la formación de la red, como de las interacciones proteína-líquido, necesarias para retener el fluido. En consecuencia, es fundamental que la proteína tenga una estructura específica que favorezca la orientación adecuada de los radicales de los aminoácidos implicados en estas interacciones [83].

Tabla 3: Gelificación del aislado proteico de vitabosa

Gelificación de los aislados proteicos de vitabosa		
Concentración (% p/v)	Gelificación	Consistencia
2	–	Blanda – líquida
3	–	Blanda – líquida
4	±	Semisólido
5	±	Semisólido
6	+	Sólido
7	+	Sólido
8	+	Sólido
14	+	Sólido
20	+	Sólido

Las proteínas son capaces de formar geles al ser sometidas a calor, lo que induce su desnaturalización y exposición de grupos reactivos que permiten la agregación y posterior formación del gel. Esta capacidad gelificante es esencial en la industria alimentaria, ya que aporta cualidades como la retención de agua en productos cárnicos y postres. Sin embargo, esta funcionalidad puede verse afectada por factores como el pH, la concentración de sales y la presencia de aditivos [71]. Generalmente, el rango óptimo de pH para la formación de geles se sitúa entre 7 y 8 para la mayoría de las proteínas [39]. En resumen, el aislado proteico de vitabosa presenta una muy buena capacidad de gelificación comparados con los aislados de otras semillas y leguminosas, por lo tanto, puede emplearse como agente espesante en la industria alimentaria.

Los aislados proteicos de vitabosa exhiben propiedades funcionales variables que determinan su aplicabilidad en la industria alimentaria. Su capacidad de absorción de agua fue moderada y sensible a la fuerza iónica, lo que sugiere una estructura globular con limitada interacción hídrica, aspecto relevante para su uso en matrices con alta demanda de retención de humedad. En contraste, su capacidad de absorción de lípidos fue mayor (1.57 mL/g), lo que indica afinidad por compuestos hidrofóbicos y los posiciona como ingredientes funcionales en productos cárnicos, horneados y fritos, donde contribuyen a mejorar la retención de grasa y el perfil sensorial. Aunque su capacidad emulsificante (32.6 %) y espumante (29.4 %, con estabilidad de 17.6 % a los 300 minutos) fue inferior a la de otras proteínas vegetales, podría ser útil en aplicaciones donde se requiera una emulsión básica o espuma limitada, como ciertas salsas o cremas. No obstante, la propiedad más destacada fue su capacidad gelificante, al formar un gel firme a baja concentración (6 %

p/v), lo que demuestra un alto potencial para su uso como agente espesante en alimentos estructurados. En conjunto, estos resultados indican que los aislados de vitabosa, pese a algunas limitaciones, poseen funcionalidades valiosas para el desarrollo de productos con requerimientos específicos de textura, retención de grasa o estructura.

4. Conclusiones

Se determinaron de forma exitosa las propiedades tecno-funcionales de los aislados proteicos de las semillas de vitabosa (*Mucuna deeringiana*). El análisis proximal proporcionó información sobre su contenido de proteína cruda (24.9 %), grasa cruda (2.75 %), fibra cruda (8.77 %), cenizas (7.98 %) y carbohidratos (44.5 %), lo que permitió evaluar el potencial como fuente de macronutrientes. Cabe destacar que, comparados con otras semillas, las semillas de vitabosa podrían ser fuente de proteínas y minerales. La curva de solubilidad de las proteínas de las semillas de *M. deeringiana* permitió identificar el punto isoeléctrico de 4, similar al de otras proteínas de origen vegetal. El punto de mayor solubilidad fue a pH 10. El rendimiento de los aislados proteicos fue del 35.8 % y en las propiedades tecno-funcionales la CAA y CAL estuvieron en un rango bajo-medio (1.32 mL/g y 1.57 mL/g, respectivamente), se observó una media actividad emulsificante 32.6 % y una buena estabilidad de emulsión 29.4 %. La CE y EE fue del 29.4 % y del 17.7 % a las 5 horas. La formación del gel se observó a una concentración del 6 % p/v lo que es muy bajo comparado con otras semillas, lo que representa una ventaja tecnológica para su aplicación en matrices alimentarias. Estos resultados aportan evidencia novedosa sobre el perfil funcional de una fuente proteica poco estudiada, abriendo posibilidades para su aprovechamiento en la formulación de productos cárnicos, postres y alimentos funcionales.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión de la Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia por el apoyo financiero al proyecto SGI 3313.

Conflicto de intereses

El manuscrito fue desarrollado, preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe ningún conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados.

Contribución de los autores

Todos los autores contribuyeron en la redacción e interpretación de los resultados de este trabajo. Sandra Chaparro concibió la idea inicial y diseñó la metodología, Carlos Bernal llevó a cabo el trabajo experimental y Hugo Rojas analizó los resultados. Carlos Bernal, Sandra Chaparro y Hugo Rojas escribieron el artículo. Todos los autores aprobaron la versión final del manuscrito y acuerdan ser responsables de su contenido.

Referencias

- [1] Á. Francisco Rojas Barahona y I. Darío Aristizábal Torres, "Efecto del contenido de humedad sobre propiedades físicas de la semilla de Vitabosa (*Mucuna deeringiana*)", Revista Facultad Nacional de Agronomía, vol. 64, núm. 1, pp. 5961–5971, 2011.
- [2] D. Sowdhanya, J. Singh, P. Rasane, S. Kaur, J. Kaur, S. Ercisli, y H. Verma, "Nutritional significance of velvet bean (*Mucuna pruriens*) and opportunities for its processing into value-added products", vol. 15, 100921, 2024, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.jafr.2023.100921.
- [3] M. V. Ruiz-Duque, "Efecto de dos procesos térmicos sobre la calidad biológica de la proteína de granos de Vitabosa (*Mucuna sp*) en pollos de engorde", Veterinaria y Zootecnia, vol. 11, núm. 1, pp. 54–73, 2017.
- [4] C. y R. H. Echeverri, "La vitabosa (*Mucuna deeringiana*)", Rionegro (Colombia), 1999.
- [5] S. Chaparro, I. Aristizábal, y J. H. Gil, "Composición y factores antinutricionales de las semillas del Género *Mucuna*: Revisión", Rev Fac Nac Agron Medellín, vol. 62, núm. 1, pp. 4843–4853, abr. 2009, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/>
- [6] C. N. Suman, V. Monteiro, G. Ramachandrax, y L. Sudharshana, "In-vitro enzymic hydrolysis of the storage proteins of Japanese barnyard millet (*Echinochloa frumentacea*)", J Sci Food Agric, vol. 58, pp. 505–509, 1992.
- [7] A. A. Oshodi, "K 0 Ipinmoroti, E. I. Adeyeye, y G. M. Hallb, "Amino and fatty acids composition of African yam bean (*Sphenostylis stenocarpa*) flour", Food Chem, vol. 53, pp. 1–6, 1995.
- [8] Y. A. Adebawale, A. Adeyemi, y A. A. Oshodi, "Variability in the physicochemical, nutritional and antinutritional attributes of six *Mucuna* species", Food Chem, vol. 89, pp. 37–48, 2005, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.01.084.
- [9] S. P. C. Acuña, J. H. G. González, y I. D. A. Torres, "Physicochemical characteristics and functional properties of vitabosa (*Mucuna deeringiana*) and soybean (*Glycine max*)", Food Science and Technology (Campinas), vol. 31, núm. 1, pp. 98–105, 2012, doi: 10.1590/s0101-20612012005000007.
- [10] M. Mousazadeh, E. Butrus, H. Hassanzadeh, M. Mousavi, G. Askari, H. Kiani, y A. Gharsallaoui, "Evaluation of the effect of spray and freeze drying techniques and different pH on the functional properties of protein isolate from chickpea (*Cicer arietinum*, var. Azad)", J Agric Food Res, vol. 19, 2025, doi: 10.1016/j.jafr.2025.101710.
- [11] A. Reinkensmeier, S. Bußler, O. Schlüter, S. Rohn, y H. M. Rawel, "Characterization of individual proteins in pea protein isolates and air classified samples", Food Research International, vol. 76, núm. P1, pp. 160–167, 2015, doi: 10.1016/j.foodres.2015.05.009.
- [12] M. Rawat, A. Varshney, A. K. Gupta, A. K. Jha, B. Naik, y V. Kumar, "Nutritional, techno-functional properties, and metabolite profiling of *Arenga obtusifolia* griff. (Tasse) flour in the formulation of functional food", Food Biosci, vol. 62, dic. 2024, doi: 10.1016/j.fbio.2024.105502.
- [13] A. Mejía-Terán, C. M. Blanco-Lizarazo, E. Leiva Mateus, y I. Sotelo-Díaz, "Techno-functional and physicochemical properties of corn flours as potential food ingredients", Applied Food Research, vol. 4, núm. 1, jun. 2024, doi: 10.1016/j.afres.2024.100427.
- [14] B. Guldiken, M. Saffon, M. T. Nickerson, y S. Ghosh, "Improving physical stability of pea protein-based emulsions near the isoelectric point via polysaccharide complexation", Food Hydrocoll, vol. 145, núm. March, p. 109029, 2023, doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.109029.
- [15] G. Karabulut, H. Feng, y O. Yemis, "Physicochemical and antioxidant properties of industrial hemp seed protein isolate treated by high-intensity Ultrasound", Plant Foods for Human Nutrition, vol. 77, núm. 4, pp. 577–583, 2022, doi: 10.1007/s11130-022-01017-7.
- [16] S. P. Chaparro, M. L. Tavera, J. J. Martínez, y J. H. Gil, "Propiedades funcionales de la harina y de los aislados proteicos de la semilla de guanábana (*Annona muricata*)", Revista U.D.CA Actualidad & Divulgación Científica, vol. 17, núm. 1, pp. 151–159, 2014.
- [17] M. Joshi, B. Adhikari, P. Aldred, J. F. Panozzo, S. Kasapis, y C. J. Barrow, "Interfacial and emulsifying properties of lentil protein isolate", Food Chem, vol. 134, núm. 3, pp. 1343–1353, 2012, doi: 10.1016/j.foodchem.2012.03.029.
- [18] M. Ma *et al.*, "Physicochemical and functional properties of protein isolate obtained from cottonseed meal", Food Chem, vol. 240, pp. 856–862, 2018, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.08.030.
- [19] M. A. Haque, F. Akter, H. Rahman, y M. A. Baqui, "Jackfruit seeds protein isolate by spray drying method: The functional and physicochemical characteristics", Food Nutr Sci, vol. 11, núm. 05, pp. 355–374, 2020.
- [20] S. S. Saeedabad, H. S. Tabarestani, M. Ghorbani, y A. M. Ziaifar, "Ohmic heating as a novel approach for enhancing the techno-functional properties of sesame protein isolate", LWT, vol. 214, 2024, doi: 10.1016/j.lwt.2024.117151.
- [21] B. Biswas y N. Sit, "Effect of ultrasonication on functional properties of tamarind seed protein isolates", J Food Sci Technol, vol. 57, núm. 6, pp. 2070–2078, 2020, doi: 10.1007/s13197-020-04241-8.
- [22] L. de Paiva Gouvêa *et al.*, "Physical and techno-functional properties of a common bean protein concentrate compared to commercial legume ingredients for the plant-based market", Food Hydrocoll, vol. 137, 2023, doi: 10.1016/j.foodhyd.2022.108351.
- [23] P. S. Mali y P. Kumar, "Effect of microwave irradiation on the functional properties, digestion behavior, and structural characteristics of protein isolate from black beans (*Phaseolus vulgaris L.*)", Innovative Food Science and Emerging Technologies, vol. 101, 2024, doi: 10.1016/j.ifset.2025.103951.
- [24] J. A. do Evangelho, N. L. Vanier, V. Z. Pinto, J. J. D. Berrios, A. R. G. Dias, y E. da R. Zavareze, "Black bean (*Phaseolus vulgaris L.*) protein hydrolysates: Physicochemical and functional properties", Food Chem, vol. 214, pp. 460–467, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.07.046.

- [25] L. da Silva Ramos *et al.*, "Technical-functional and surface properties of white common bean proteins (*Phaseolus vulgaris* L.): Effect of pH, protein concentration, and guar gum presence", *Food Research International*, vol. 192, 2024.
- [26] R. Horax, N. S. Hettiarachchy, P. Chen, y M. Jalaluddin, "Preparation and characterization of protein isolate from cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.)", *J Food Sci*, vol. 69, núm. 2, 2004, doi: 10.1111/j.1365-2621.2004.tb15500.x
- [27] Y. Ni *et al.*, "Enhancement of physicochemical and techno-functional properties of soy protein isolate amyloid fibrils by moderate ultrasonic pretreatment", *Ultrason Sonochem*, vol. 112, 2025, doi: 10.1016/j.ultsonch.2024.107157.
- [28] Y. Hu, L. Cheng, E. P. Gilbert, S. J. Lee, y Z. Yang, "Impact of thermosonication at neutral pH on the structural characteristics of faba bean protein isolate dispersions and their physicochemical and techno-functional properties", *Food Hydrocoll*, vol. 154, 2024, doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110140.
- [29] A. C. A. Sales, R. I. B. de Oliveira, y G. M. Tavares, "Mixing oat proteins with lentil or faba bean proteins: How is the techno-functional behavior of the different protein systems affected by heat treatments?", *Food Hydrocoll*, vol. 157, dic. 2024, doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110461.
- [30] M. E. Parlak, F. T. Saricaoglu, y M. T. Yilmaz, "Application of high-pressure homogenization-assisted pH-shift to enhance techno-functional and interfacial properties of lentil protein isolate", *Food Hydrocoll*, vol. 157, dic. 2024, doi: 10.1016/j.foodhyd.2024.110425.
- [31] J. Ge, C. X. Sun, M. Sun, Y. Zhang, y Y. Fang, "Introducing panda bean (*Vigna umbellata* (Thunb.) Ohwi et Ohashi) protein isolate as an alternative source of legume protein: Physicochemical, functional and nutritional characteristics", *Food Chem*, vol. 388, sep. 2022, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.133016.
- [32] T. Chin, T. Ruethers, B. Chan, A. Lopata, y J. Du, "Techno-functional properties and allergenicity of mung bean (*Vigna radiata*) protein isolates from Imara and KPS2 varieties", *Food Chem*, vol. 457, nov. 2024, doi: 10.1016/j.foodchem.2024.140069.
- [33] V. Saran *et al.*, "Ultrasound modification of techno-functional, structural, and physico-chemical properties of legume proteins: A review", el 1 de agosto de 2024, Elsevier Ltd. doi: 10.1016/j.fbio.2024.104456.
- [34] J. Martinez, O. Medina, y R. Zambrano, "Estudio físico-químico funcional de los aislados proteicos en semillas de maracuyá (*Passiflora edulis* f.), Bistua: Revista de la Facultad de Ciencias Básicas, vol. 9, núm. 1, pp. 70–76, 2011.
- [35] AOAC, *Official Methods of Analysis of AOAC*, vol. 1. Arlington, Virginia USA: Association of Official Analytical Chemists, Inc., 1990. doi: 10.7312/seir17116-004.
- [36] A. Serpa, G. Hincapié, y C. Álvarez, "Determinación del punto isoeléctrico de las proteínas presentes en cuatro fuentes foliares: yuca (*Manihot esculenta* Crantz) variedades verónica y tai, jatropha (*Jatropha curcas* L.) y gmelina (*Gmelina arborea*)", *Prospectiva*, vol. 4, núm. 3, pp. 30–39, 2014, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/scielo>
- [37] K. Zheng, L. Wu, Z. He, B. Yang, y Y. Yang, "Measurement of the total protein in serum by biuret method with uncertainty evaluation", *Measurement (Lond)*, vol. 112, núm. 15, pp. 16–21, 2017, doi: 10.1016/j.measurement.2017.08.013.
- [38] D. Voet, J. Voet, y C. Pratt, *Fundamentos de Bioquímica*, Cuarta Edi. Editorial Médica Panamericana, 2016.
- [39] O. Fennema, *Química de Alimentos*. Zaragoza (España), 2010.
- [40] L. R. Beuchat, "Functional and Electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein", *J Agric Food Chem*, vol. 25, núm. 2, pp. 258–261, 1977, doi: 10.1021/jf60210a044.
- [41] D. Skoog, D. West, J. Holler, y S. Crouch, *Fundamentos de Química Analítica*, Octava Edi. International Thompson Editores, 2005.
- [42] V. Q. Neto, N. Narain, J. B. Silva, y P. S. Bora, "Functional properties of raw and heat processed cashew nut (*Anacardium occidentale*, L.) kernel protein isolates", *Nahrung - Food*, vol. 45, núm. 4, pp. 258–262, 2001.
- [43] V. V. Garcia y C. W. Coffmann, "Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour", *Food Science and Technology*, vol. 12, núm. 76, pp. 473–484, 1977.
- [44] S. P. Chaparro-Acuña, A. E. L. Sandoval, A. S. Amador, S. J. S. Suarique, J. J. M. Zambrano, y J. H. G. González, "Caracterización funcional de la almendra de las semillas de mango (*Mangifera indica* L.)", *Ciencia en Desarrollo*, vol. 6, núm. 1, pp. 67–75, jul. 2015, doi: 10.19053/01217488.3651.
- [45] M. Fon y H. Zumbado, *Análisis proximal en alimentos. Fundamentos teóricos y técnicas experimentales*. Ecuador: Colloquium Editorial, 2019.
- [46] S. Chaparro, I. Aristizábal, y J. Gil, "Antinutrients reduction of vitabosa seeds (*Mucuna deeringiana*) with physicochemical processes", *Rev Fac Nac Agron Medellín*, vol. 62, núm. 2, pp. 5157–5164, 2009, [En línea]. Disponible en: <http://www.scielo.org.co/>
- [47] J. Pedroche *et al.*, "Brassica carinata protein isolates: Chemical composition, protein characterization and improvement of functional properties by protein hydrolysis", *Food Chem*, vol. 88, núm. 3, pp. 337–346, 2004, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.01.045.
- [48] V. Vadivel y K. Janardhanan, "Nutritional and anti-nutritional attributes of the under-utilized legume, *Cassia floribunda* Cav", *Food Chem*, vol. 73, núm. 2, pp. 209–215, 2001, doi: 10.1016/S0308-8146(00)00280-6.
- [49] F. Shahidi, U. D. Chavan, A. K. Bal, y D. B. McKenzie, "Chemical composition of beach pea (*Lathyrus maritimus* L.) plant parts", *Food Chem*, vol. 64, núm. 1, pp. 39–44, 1999, doi: 10.1016/S0308-8146(98)00097-1.
- [50] V. Coral y R. Gallegos, "Determinación proximal de los principales componentes nutricionales de harina de

- maíz, harina de trigo integral, avena, yuca, zanahoria amarilla, zanahoria blanca y chocho.", *infoANALÍTICA*, vol. 3, núm. 1, pp. 9–24, 2015.
- [51] G. Gopalan, B. V. Rama Sastri, y S. C. Balasubramanian, *Nutritive Value of Indian Foods*. 2014.
- [52] E. Akhunov, P. Annis, G. Annor, C. Atkins, y W. Atwell, *Enciclopedia de granos alimenticios*. Elsevier, 2016.
- [53] H. Lqari, J. Vioque, J. Pedroche, y F. Millán, "Lupinus angustifolius protein isolates: Chemical composition, functional properties and protein characterization", *Food Chem*, vol. 76, núm. 3, pp. 349–356, 2002, doi: 10.1016/S0308-8146(01)00285-0.
- [54] S. Nielsen, *Food Analysis*, Fourth Edi. West Lafayette (USA): Springer Science, 2010.
- [55] A. Moure, M. Rua, J. Sineiro, y H. Dominguez, "Aqueous extraction and membrane isolation of protein from defatted *Gevuina avellana*", *J Food Sci*, vol. 67, núm. 2, pp. 688–696, 2002, doi: 10.1111/j.1365-2621.2002.tb10660.x
- [56] Y. Yoshie-Stark, Y. Wada, y A. Wäsche, "Chemical composition, functional properties, and bioactivities of rapeseed protein isolates", *Food Chem*, vol. 107, núm. 1, pp. 32–39, mar. 2008, doi: 10.1016/j.foodchem.2007.07.061.
- [57] Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), "Carbohydrates in Human Nutrition: Report of a Joint FAO/WHO Expert Consultation", 1998.
- [58] S. L. Almeida-Alvarado, T. Aguilar-López, y D. Hervert-Hernández, "La fibra y sus beneficios a la salud", *Anales Venezolanos de Nutricion*, vol. 27, núm. 1, pp. 73–76, 2014.
- [59] P. Siddhuraju y K. Becker, "Nutritional and antinutritional composition, in vitro amino acid availability, starch digestibility and predicted glycemic index of differentially processed mucuna beans (*Mucuna pruriens* var. utilis): An under-utilised legume", *Food Chem*, vol. 91, núm. 2, pp. 275–286, 2005, doi: 10.1016/j.foodchem.2004.02.044.
- [60] V. O. Alfredo, R. R. Gabriel, C. G. Luis, y B. A. David, "Physicochemical properties of a fibrous fraction from chia (*Salvia hispanica* L.)", *LWT*, vol. 42, núm. 1, pp. 168–173, 2009, doi: 10.1016/j.lwt.2008.05.012.
- [61] R. Repo-Carrasco-Valencia, A. Acevedo de la Cruz, J. C. Icochea Alvarez, y H. Kallio, "Chemical and functional characterization of Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) grain, extrudate and bran", *Plant Foods for Human Nutrition*, vol. 64, núm. 2, pp. 94–101, 2009.
- [62] I. Y. Mizubuti, O. Biondo Júnior, L. W. De Oliveira Souza, R. S. Dos Santos Ferreira da Silva, y E. Iouko Ida, "Propriedades funcionais da farinha e concentrado proteico de feijão guandu (*Cajanus cajan* (L.) Millsp)", *Arch Latinoam Nutr*, vol. 50, núm. 3, pp. 274–280, 2000.
- [63] A. H. Lara-Rivera, P. García-Alamilla, L. M. Lagunes-Gálvez, R. Rodríguez Macias, P. M. García López, y J. F. Zamora Natera, "Functional properties of *Lupinus angustifolius* seed protein isolates", *J Food Qual*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/8675814.
- [64] A. Bernardino Nicanor, A. Ortiz Moreno, A. L. Martínez Ayala, y G. Davila Ortiz, "Guava seed protein isolate: functional and nutritional characterization", *J Food Biochem*, vol. 25, núm. 5, pp. 77–90, 2001.
- [65] L. E. Abugoch James, "Relación estructural-funcionalidad de glutelinas y aislados proteicos de amaranto (*Amaranthus hypocondriacus*)", Universidad Nacional de la Plata, La Plata (Argentina), 2006.
- [66] C. Álvarez, E. Sanmartín, S. Álvarez, J. Labidi, J. Zufia, y C. Bald, "Composition and techno-functional properties of grape seed flour protein extracts", *ACS Food Science and Technology*, vol. 2, núm. 1, pp. 125–135, 2022, doi: <https://doi.org/10.1021/acsfoodscitech.1c00367>.
- [67] A. S. Sandberg, "Developing functional ingredients: a case study of pea protein", en *Functional Foods: Concept to Product: Second Edition*, Elsevier Ltd, 2011, pp. 358–382. doi: 10.1533/9780857092557.3.358.
- [68] M. Foschia, S. W. Horstmann, E. K. Arendt, y E. Zannini, "Legumes as functional ingredients in gluten-free bakery and pasta products", *Annu Rev Food Sci Technol*, vol. 8, núm. December 2016, pp. 75–96, 2017, doi: 10.1146/annurev-food-030216-030045.
- [69] S. Chandra, S. Singh, y D. Kumari, "Evaluation of functional properties of composite flours and sensorial attributes of composite flour biscuits", *J Food Sci Technol*, vol. 52, núm. 6, pp. 3681–3688, 2015, doi: 10.1007/s13197-014-1427-2.
- [70] M. Vogelsang-O'Dwyer, E. Zannini, y E. K. Arendt, "Production of pulse protein ingredients and their application in plant-based milk alternatives", *Trends Food Sci Technol*, vol. 110, núm. January, pp. 364–374, 2021, doi: 10.1016/j.tifs.2021.01.090.
- [71] E. Onyango, "Legume protein: properties and extraction for food applications", en *Legumes Research*, IntechOpen, Ed., IntechOpen, 2022. doi: 10.5772/intechopen.100393.
- [72] Y. Zhang, A. Herneke, M. Langton, M. Johansson, y M. Corredig, "Effect of pH and ionic strength on heat-induced pea protein isolate aggregation and gel formation", *Food Hydrocoll*, vol. 167, nov. 2025, doi: 10.1016/j.foodhyd.2025.111393.
- [73] G. O. Phillips y P. A. Williams, Eds., *Handbook of Food Proteins*. Woodhead Publishing, 2011.
- [74] A. Ramírez y E. Pacheco de Delahaye, "Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana", *INCI*, vol. 34, núm. 4, pp. 293–298, 2009.
- [75] J. E. Kinsella, "Functional properties of proteins in foods: A survey", *C R C Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, vol. 7, núm. 3, pp. 219–280, 1976, doi: 10.1080/10408397609527208.
- [76] A. Muhammad y P. Pauls, "Properties of plant proteins", en *Plant Bioproducts*, G. Chen, R. Weselake, y S. Singer, Eds., Springer, 2018, pp. 121–142.
- [77] M. Granito, M. Guerra, A. Torres, y J. Guinand, "Efecto del procesamiento sobre las propiedades funcionales de

- Vigna Sinensis*", *Interciencia*, vol. 29, núm. 9, pp. 521–526, 2004, Consultado: el 22 de septiembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <http://ve.scielo.org/scielo>
- [78] C. V Lucia Navarro, D. M. Restrepo, y J. M. Perez, "El guandul (*Cajanus cajan*) una alternativa en la industria de los alimentos", *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 12, núm. 2, pp. 197–206, 2014.
- [79] H. R. Sharif *et al.*, "Current progress in the utilization of native and modified legume proteins as emulsifiers and encapsulants – A review", *Food Hydrocoll*, vol. 76, pp. 2–16, 2018, doi: 10.1016/j.foodhyd.2017.01.002.
- [80] S. kui Du, H. Jiang, X. Yu, y J. lin Jane, "Physico-chemical and functional properties of whole legume flour", *Lwt*, vol. 55, núm. 1, pp. 308–313, 2014, doi: 10.1016/j.lwt.2013.06.001.
- [81] Y. Liu, Q. Wu, J. Zhang, W. Yan, y X. Mao, "Food emulsions stabilized by proteins and emulsifiers: A review of the mechanistic explorations", el 1 de marzo de 2024, Elsevier B.V. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129795.
- [82] S. O. Ogunwolu, F. O. Henshaw, H. P. Mock, A. Santos, y S. O. Awonorin, "Functional properties of protein concentrates and isolates produced from cashew (*Anacardium occidentale* L.) nut", *Food Chem*, vol. 115, núm. 3, pp. 852–858, ago. 2009, doi: 10.1016/j.foodchem.2009.01.011.
- [83] L. A. Chel-Guerrero, L. Corzo-Rios, y D. A. Betancur-Ancona, "Estructura y propiedades funcionales de proteínas de leguminosas", *Revista de la Universidad Autónoma de Yucatán*, vol. 18, pp. 34–43, 2003, [En línea]. Disponible en: <http://www.cirsociales.uady.mx/revUADY>