

**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e Ingenierías**

**Evaluación de diferentes métodos de extracción de proteína de haba (*Vicia faba* L.)**

**Romina Antonella Montero Flores**

**Ingeniería en Alimentos**

Trabajo de fin de carrera presentado como requisito  
para la obtención del título de  
Ingeniero en Alimentos

Quito, 03 de julio de 2025

# **UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO USFQ**

**Colegio de Ciencias e ingenierías**

## **HOJA DE CALIFICACIÓN DE TRABAJO DE FIN DE CARRERA**

**Evaluación de diferentes métodos de extracción de proteína de haba (*Vicia faba* L.)**

**Romina Antonella Montero Flores**

**Nombre del profesor, Título académico**

**Lucía Ramírez Cárdenas, Ph.D.  
José Álvarez Barreto, Ph.D.**

Quito, 03 de julio de 2025

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído todas las Políticas y Manuales de la Universidad San Francisco de Quito USFQ, incluyendo la Política de Propiedad Intelectual USFQ, y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo quedan sujetos a lo dispuesto en esas Políticas.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en la Ley Orgánica de Educación Superior del Ecuador.

Nombres y apellidos: Romina Antonella Montero Flores

Código: 324583

Cédula de identidad: 0931705396

Lugar y fecha: Quito, 03 de julio de 2025

## **ACLARACIÓN PARA PUBLICACIÓN**

**Nota:** El presente trabajo, en su totalidad o cualquiera de sus partes, no debe ser considerado como una publicación, incluso a pesar de estar disponible sin restricciones a través de un repositorio institucional. Esta declaración se alinea con las prácticas y recomendaciones presentadas por el Committee on Publication Ethics COPE descritas por Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing, disponible en <http://bit.ly/COPETheses>.

## **UNPUBLISHED DOCUMENT**

**Note:** The following capstone project is available through Universidad San Francisco de Quito USFQ institutional repository. Nonetheless, this project – in whole or in part – should not be considered a publication. This statement follows the recommendations presented by the Committee on Publication Ethics COPE described by Barbour et al. (2017) Discussion document on best practice for issues around theses publishing available on <http://bit.ly/COPETheses>.

## RESUMEN

La subutilización industrial del haba en Ecuador, pese a su alto contenido proteico y sus beneficios agroecológicos, representa una oportunidad valiosa para el desarrollo de ingredientes alimentarios funcionales y sostenibles. La presente investigación tuvo como objetivo comparar tres metodologías de extracción de proteína a partir de harina de haba (*Vicia faba* L.) ecuatoriana para identificar el método más eficiente y funcional para su aplicación en la industria alimentaria. Se aplicó un diseño completamente al azar con tres tratamientos (métodos de extracción: micelización, extracción asistida por ultrasonido y precipitación alcalino-ácida) y 4 repeticiones. Los datos fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 % ( $p < 0,05$ ). Las fracciones proteicas resultantes fueron evaluadas en cuanto a su rendimiento, propiedades espumantes y emulsificantes, así como características cromáticas. El método de precipitación alcalino-ácida alcanzó el mayor rendimiento proteico (44,08 %), significativamente superior ( $p < 0,05$ ) al de los métodos de micelización (30,53 %) y ultrasonido (29,21 %). Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en las propiedades tecnofuncionales entre los tratamientos ( $p > 0,05$ ). Todos los aislados presentaron alta capacidad y estabilidad espumante ( $> 99$  % y  $> 97$  %, respectivamente), pero una capacidad y estabilidad emulsificante baja ( $< 18$  %), lo que limita su aplicación a productos que no requieran alta estabilidad interfacial. Los tres métodos generaron aislados con una apariencia visual clara y adecuada, presentando valores de luminosidad superiores a 82 e índices de blancura por encima de 29. Estas características sugieren una buena calidad visual del aislado, lo que además no generaría cambios perceptibles en el color de los alimentos en los que sea aplicado. Si bien la precipitación alcalino-ácida es más eficiente en términos de cantidad de proteína recuperada, los métodos de micelización y ultrasonido conservan mejor la funcionalidad de las proteínas. Por tanto, la elección del método dependerá del propósito tecnológico del aislado. Esta investigación contribuye al aprovechamiento de un cultivo local subvalorado, promoviendo la innovación tecnológica, la diversificación productiva y el desarrollo rural sostenible.

**Palabras clave:** *Vicia faba* L., aislado proteico, propiedades funcionales, sostenibilidad alimentaria, innovación tecnológica, proteínas vegetales.

## ABSTRACT

The underutilization of faba bean (*Vicia faba* L.) in Ecuador's food industry, despite its high protein content and agroecological benefits, represents a valuable opportunity for the development of functional and sustainable food ingredients. This study aimed to compare three protein extraction methods using Ecuadorian faba bean flour in order to identify the most efficient and functionally appropriate technique for application in the food industry. A completely randomized design was applied with three treatments (extraction methods: micellization, ultrasound-assisted extraction, and alkaline-acid precipitation) and four replications. The data was statistically analyzed using ANOVA and Tukey's test at a 5% significance level ( $p < 0.05$ ). The resulting protein isolates were evaluated based on yield, foaming and emulsifying properties, and color characteristics. The alkaline-acid precipitation method achieved the highest protein yield (44.08%), significantly higher ( $p < 0.05$ ) than micellization (30.53%) and ultrasound (29.21%). However, no significant differences were observed in the techno-functional properties among the treatments ( $p > 0.05$ ). All isolates exhibited high foaming capacity and stability (>99% and >97%, respectively), but low emulsifying capacity and stability (<18%), limiting their use to products that do not require high interfacial stability. The three methods produced isolates with a clear and visually acceptable appearance, showing luminosity values above 82 and whiteness indices over 29. These traits suggest good visual quality, with minimal impact on the appearance of the final food product. While alkaline-acid precipitation is more efficient in terms of protein recovery, micellization and ultrasound better preserve protein functionality. Therefore, the selection of the extraction method should depend on the intended technological application of the isolate. This research contributes to the valorization of an underexploited local crop, promoting technological innovation, productive diversification, and sustainable rural development.

**Keywords:** *Vicia faba* L., protein isolate, techno-functional properties, sustainable food systems, plant proteins, food innovation.

## TABLA DE CONTENIDOS

|                                                           |           |
|-----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>RESUMEN.....</b>                                       | <b>5</b>  |
| <b>ABSTRACT.....</b>                                      | <b>6</b>  |
| <b>INTRODUCCIÓN.....</b>                                  | <b>9</b>  |
| <b>METODOLOGÍA.....</b>                                   | <b>14</b> |
| <b>1. Materia prima y pretratamiento .....</b>            | <b>14</b> |
| <b>2. Diseño experimental.....</b>                        | <b>14</b> |
| <b>3. Métodos de extracción de aislado proteico .....</b> | <b>15</b> |
| 3.1. Micelización.....                                    | 15        |
| 3.2. Extracción asistida por Ultrasonido .....            | 15        |
| 3.3. Precipitación Alcalino-Ácido.....                    | 16        |
| 3.4. Recuperación de la proteína.....                     | 16        |
| <b>4. Variables de Salida .....</b>                       | <b>17</b> |
| 4.1. Rendimiento proteico.....                            | 18        |
| 4.2. Capacidad y estabilidad espumante .....              | 18        |
| 4.3. Capacidad y estabilidad emulsificante.....           | 19        |
| 4.4. Características Cromáticas (CIE Lab*) .....          | 20        |
| <b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>                       | <b>21</b> |
| <b>CONCLUSIONES.....</b>                                  | <b>32</b> |
| <b>RECOMENDACIONES .....</b>                              | <b>33</b> |
| <b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                    | <b>34</b> |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                                                                                                                                                                                                                        |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Variables de salida .....                                                                                                                                                                                                                                              | 17 |
| <b>Tabla 2.</b> Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de Capacidad espumante (CEs) (%), Estabilidad espumante (EEs)(%), Capacidad emulsificante (CEm) (%), Estabilidad emulsificante (EEm) (%), Rendimiento proteico (R) (%) y Características cromáticas de los tratamientos. .... | 24 |
| <b>Tabla 3.</b> Rendimiento proteico (%) de los tratamientos.....                                                                                                                                                                                                                      | 26 |
| <b>Tabla 4.</b> Capacidad espumante (%), Estabilidad espumante (%), Capacidad emulsificante (%) y Estabilidad emulsificante (%) de los tratamientos. ....                                                                                                                              | 29 |
| <b>Tabla 5.</b> Características cromáticas (L*, a*, b*, WI) de los tratamientos. ....                                                                                                                                                                                                  | 31 |



## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el sistema alimentario global ha experimentado transformaciones profundas como resultado de la convergencia de factores sociales, ambientales, económicos y tecnológicos. El crecimiento poblacional, sobreexplotación acelerada de los recursos naturales, deterioro del medio ambiente y los desafíos en torno a la salud pública han impulsado una tendencia global hacia dietas más sostenibles, saludables y basadas en plantas. A nivel del consumidor, la creciente preocupación por el bienestar animal, la reducción de la huella de carbono, y la prevención de enfermedades degenerativas crónicas no transmisibles ha generado una demanda cada vez mayor de alimentos de origen vegetal, especialmente aquellos con alto contenido proteico. Este contexto ha estimulado la investigación y el desarrollo de nuevas fuentes de proteínas alternativas a las de origen animal, impulsando la innovación en ingredientes alimentarios funcionales y sostenibles (Poore & Nemecek, 2018). Entre las alternativas emergentes, las leguminosas ocupan un lugar destacado debido a su excelente perfil nutricional, caracterizado por un alto contenido de proteína, fibra dietética, minerales esenciales y compuestos bioactivos. Además, su capacidad para fijar nitrógeno y su bajo impacto ambiental las posicionan como una opción sostenible y prometedora. Estas características las convierten en cultivos fundamentales para enfrentar los desafíos del cambio climático y fortalecer la seguridad alimentaria a nivel global. Entre las leguminosas que han recibido atención en la literatura científica y en la industria alimentaria se encuentran la soya, el garbanzo y la arveja. No obstante, otras especies relevantes, como la *Vicia faba* L., conocida comúnmente como haba, han sido subvaloradas y subutilizadas en términos de su potencial industrial, a pesar de contar con atributos nutricionales y funcionales destacables (Foyer et al., 2016).

La *Vicia faba* L. es una leguminosa con un contenido de proteínas que varía entre el 20% y el 35% según el cultivar y las condiciones agroecológicas. Contiene todos los aminoácidos esenciales, con niveles particularmente altos de lisina, leucina y arginina y la metionina como aminoácido limitante. Además, es fuente de fibra dietética, minerales como hierro y zinc, y compuestos bioactivos entre los que se destacan los polifenoles. Su cultivo es agronómicamente eficiente, adaptable a distintos climas y aporta beneficios ecológicos al sistema agrícola al mejorar la fertilidad del suelo a través de la fijación simbiótica de nitrógeno. Sin embargo, a pesar de estas ventajas, su industrialización como fuente de aislados de proteína continúa siendo limitada, en especial en países en vías de desarrollo (INIAP, 2023; Multari et al., 2015).

En Ecuador, la *Vicia faba* L. se cultiva principalmente en la región andina, en provincias como Imbabura, Carchi, Pichincha y Tungurahua. Es sembrada en altitudes que oscilan entre los 2.200 y 3.500 metros sobre el nivel del mar, donde se integra a sistemas agrícolas de pequeña escala, típicamente asociados a prácticas de agricultura familiar. El cultivo forma parte importante de la dieta tradicional y se comercializa principalmente como producto fresco o mínimamente procesado en mercados locales. Esta forma de comercialización representa una importante limitación para el desarrollo económico de los productores, ya que la falta de valor agregado reduce los márgenes de ganancia y mantiene a las comunidades rurales en situaciones de vulnerabilidad económica (INEC, 2022). Asimismo, esta situación limita el posicionamiento del cultivo dentro de la industria alimentaria moderna, impidiendo su proyección hacia mercados nacionales o internacionales más sofisticados.

La problemática central que enfrenta la *Vicia faba* L. en Ecuador radica en la ausencia de innovación tecnológica orientada a su procesamiento industrial. En la actualidad, existen muy pocas líneas de producción estandarizadas o plantas piloto que permitan extraer y purificar proteínas de este grano a escala industrial. Esta carencia técnica, sumada a la limitada

articulación entre el sector académico, productivo y estatal, ha mantenido el cultivo en una situación de estancamiento, restringiendo su potencial para generar empleos, aumentar la seguridad alimentaria y dinamizar las economías rurales. Este escenario contrasta con el crecimiento sostenido del mercado global de proteínas vegetales, cuya expansión anual se estima en más del 7% y se proyecta que supere los 25 mil millones de dólares estadounidenses para el año 2027 (Grand View Research, 2021; INIAP, 2023).

Desde el enfoque de la ingeniería en alimentos, esta situación presenta una oportunidad estratégica para desarrollar soluciones tecnológicas viables que permitan transformar la *Vicia faba* L. en un ingrediente alimentario de alto valor. La implementación de procesos eficientes para la extracción de aislados proteicos no solo puede aumentar la rentabilidad del cultivo, sino también generar impactos positivos a nivel económico, social, ambiental y de salud pública. El análisis de esta problemática requiere una visión integral que considere las múltiples dimensiones del entorno: las necesidades del mercado global, las capacidades locales de producción, los hábitos culturales de consumo, las condiciones ambientales del territorio, las restricciones económicas de los productores y los beneficios nutricionales para el consumidor (INIAP, 2023; Multari, Stewart, & Russell, 2015).

En el ámbito social, el aprovechamiento industrial de cultivos como *Vicia faba* L. no solo representa una mejora tecnológica, sino también una vía concreta para promover empleos dignos en zonas rurales, fortalecer cadenas productivas inclusivas y generar ingresos sostenibles para pequeños productores. La implementación de procesos de valor agregado puede dinamizar economías locales y reducir la migración interna, especialmente cuando se promueve la equidad en la distribución de beneficios y el respeto por los derechos laborales. Además, el desarrollo de ingredientes funcionales a partir de leguminosas contribuye a mejorar el acceso a alimentos nutritivos para poblaciones vulnerables, alineándose con un enfoque de seguridad alimentaria más justo y accesible (Njuki et al., 2023).

El aislamiento de proteínas a partir de leguminosas es un proceso ampliamente estudiado. Entre las metodologías más utilizadas se encuentra la precipitación alcalino-ácida, que consiste en solubilizar las proteínas a pH alcalino para luego precipitar en su punto isoeléctrico. Este método es económico, sencillo y permite obtener fracciones proteicas con alta pureza, aunque con riesgos asociados a la desnaturalización parcial si no se controlan adecuadamente las condiciones del proceso (Stone et al., 2015). Otra técnica de creciente interés es la extracción asistida por ultrasonido, que utiliza cavitación acústica para mejorar la ruptura celular y la solubilización de las proteínas. Esta técnica ha demostrado ser eficiente y cuidadosa con la funcionalidad de las proteínas, aunque requiere equipamiento especializado y mayor control de la temperatura, intensidad y tiempo de exposición (Zhou et al., 2021). Por otro lado, la micelación inducida por pH es una estrategia innovadora basada en la formación de agregados micelares que pueden separarse mediante centrifugación y permite obtener proteínas con alto rendimiento y funcionalidad y ha mostrado resultados prometedores en estudios recientes realizados con *Vicia faba* L. (Jeganathan et al., 2024).

Para determinar el mejor método de extracción que facilite la obtención de un aislado proteico de calidad y con aplicaciones reales en procesos y formulaciones alimentarias, se deben determinar diferentes parámetros. El rendimiento proteico está directamente relacionado con la extracción, ya que permite comparar cuánta proteína se logró recuperar efectivamente con cada metodología y refleja la eficiencia del proceso (Kamani et al. 2024). La capacidad espumante indica la habilidad de una proteína para atrapar aire durante la agitación y la estabilidad espumante evalúa cuánto tiempo se mantiene esa espuma sin colapsar. Estas propiedades son clave en productos como mousses, bebidas o sustitutos de huevo (Cormeño et al., 2024). La capacidad emulsificante determina la habilidad de una proteína para estabilizar una mezcla de agua y aceite (emulsión) y es fundamental en productos como salsas, aderezos o productos cárnicos alternativos. La estabilidad emulsificante se refiere al tiempo que

permanece sin separarse en fases (Cano-Medina et al., 2011). Las características cromáticas del aislado proteico son comercialmente relevantes, por su efecto en la aceptabilidad visual del ingrediente y del producto donde ha sido aplicado (Kamani et al. 2024).

Investigaciones de este tipo contribuirán al fortalecimiento del conocimiento científico sobre una leguminosa subvalorada, que podría generar futuras aplicaciones tecnológicas, nutricionales y comerciales. Además, impactarían positivamente en el desarrollo rural, al ofrecer a los productores una nueva vía de valorización de su cosecha. Asimismo, favorecerían la diversificación de la matriz productiva ecuatoriana, reduciendo la dependencia de productos de exportación tradicionales. Es importante también la contribución al fortalecimiento de un sistema alimentario más sostenible, equitativo y resiliente, alineado con los Objetivos de Desarrollo Sostenible, particularmente aquellos relacionados con la erradicación del hambre, la mejora de la nutrición, la promoción de la agricultura sostenible y la innovación industrial (Njuki et al., 2023).

A partir de estas consideraciones, esta investigación tuvo como objetivo general comparar tres metodologías de extracción de proteínas de *Vicia faba* L. de origen ecuatoriano: micelación, extracción ultrasónica y precipitación alcalino-ácida, con el fin de identificar la más adecuada y su potencial aplicación como ingrediente proteico en la industria alimentaria. Para esto, se evaluó la eficiencia de cada metodología mediante el análisis de parámetros críticos como el rendimiento en la extracción de proteínas y las propiedades tecnofuncionales de las fracciones proteicas. Estas propiedades incluyeron la capacidad espumante, capacidad emulsificante, la estabilidad de emulsiones y espumas, así como las características cromáticas, en función de su aplicabilidad en el diseño y desarrollo de matrices alimentarias funcionales.

## METODOLOGÍA

### **1. Materia prima y pretratamiento**

Para el desarrollo de esta investigación, se utilizó como materia prima el haba (*Vicia faba* L.), obtenida en estado fresco de mercados locales en la región andina del Ecuador. Las habas frescas fueron seleccionadas manualmente para eliminar granos dañados o en mal estado. Se sometieron a un lavado con agua potable, escaldado por 2 minutos a 91°C y pelado manual de la cáscara. Luego, fueron deshidratadas (deshidratador Magic Mill MFD-7070) a una temperatura constante de 55 °C durante 18 horas. Durante este procedimiento se elaboró una curva de secado, registrando el peso de la muestra en intervalos regulares para identificar el comportamiento de pérdida de humedad. Una vez alcanzado un contenido de humedad del 9,61 %, las habas deshidratadas fueron molidas hasta obtener una harina homogénea, que fue tamizada a través de un tamiz de malla 200 (abertura 75 µm) para asegurar una granulometría fina y uniforme. Este contenido de humedad se encuentra dentro del rango recomendado para harinas de leguminosas, ya que valores inferiores al 10 % permiten garantizar una mayor estabilidad durante el almacenamiento, al reducir la actividad de agua y el riesgo de deterioro microbiológico (Jiménez-Martínez et al., 2003). Esta harina fue almacenada en refrigeración a 4°C hasta su uso.

### **2. Diseño experimental**

Se aplicó un diseño completamente al azar (DCA) para analizar tres métodos de extracción de aislados de proteína de haba: micelización, extracción asistida por ultrasonido y precipitación alcalino-ácida. Se generaron, por lo tanto, tres tratamientos y al aplicar 4 repeticiones, se obtuvo un total de 12 unidades experimentales.

Las variables de salida incluyeron el rendimiento proteico, capacidad espumante, estabilidad espumante, capacidad emulsificante, estabilidad emulsificante y características cromáticas.

Los datos obtenidos fueron evaluados estadísticamente mediante análisis de varianza (ANOVA) y prueba de Tukey con un nivel de significancia del 5 % ( $p < 0,05$ ).

### **3. Métodos de extracción de aislado proteico**

Cada uno de los métodos de extracción fue ejecutado bajo condiciones específicas, con el objetivo de precipitar las proteínas presentes en la harina de haba.

#### **3.1. Micelización**

Esta metodología conserva la funcionalidad de las proteínas mediante un proceso suave de separación, evitando el uso de solventes orgánicos o agentes químicos agresivos que puedan desnaturalizar las estructuras proteicas. El protocolo utilizado en este trabajo fue una adaptación a la metodología de Jeganathan et al. (2024). Se pesó 10 gramos de harina de *Vicia faba* L. (Balanza analítica ML204T, capacidad máxima 220 g; resolución: 0.1 mg) y se adicionó 10 mililitros de agua destilada precalentada a 35 °C. El pH se ajustó a un valor entre 9,0 y 10,0; utilizando NaOH 1 M, para beneficiar la solubilización de proteínas globulares como legumina y vicilina (Kamani et al., 2024). La mezcla fue agitada a 500 rpm en un agitador magnético, con temperatura controlada de 35 °C.

#### **3.2. Extracción asistida por Ultrasonido**

Técnica físico-mecánica basada en la cavitación acústica que facilita la disrupción de las paredes celulares y mejora la liberación de proteínas al medio líquido. Siguiendo la metodología propuesta por Badjona et al. (2024), se pesó 10 gramos de harina de *Vicia faba* L. (Balanza analítica ML204T, capacidad máxima 220 g; resolución: 0.1 mg) y se suspendió en 10 mililitros de agua destilada (relación 1:10 (p/v)), a temperatura ambiente. La mezcla fue homogeneizada mediante agitación a 500 rpm en un agitador magnético. Se ajustó el pH de la solución a un rango alcalino entre 10,5 y 11,0 utilizando NaOH 1 M, con el fin de maximizar la solubilización de proteínas estructurales como vicilina y legumina.

La suspensión fue sometida a un tratamiento en baño ultrasónico con frecuencia de 40 kHz y potencia de salida de 120 W durante 40 minutos. Este tratamiento induce la ruptura celular y mejora la accesibilidad de las proteínas, sin provocar una desnaturalización significativa de su estructura terciaria si se controla adecuadamente la temperatura (Gulzar et al., 2024).

### **3.3. Precipitación Alcalino-Ácido**

Estrategia convencional ampliamente aplicada en la obtención de aislados proteicos a partir de leguminosas, que se basa en la solubilización de las proteínas a pH alcalino, seguido de su precipitación en el punto isoelectrico. Según lo establecido por Sheikh et al. (2023) se pesaron 10 gramos de harina de *Vicia faba* L. (Balanza analítica ML204T, capacidad máxima 220 g; resolución: 0.1 mg) y se suspendieron en 10 mililitros de agua destilada, es decir una relación 1:10 (p/v). Se añadió cloruro de sodio (NaCl) a una concentración de 1 g/L con el objetivo de mejorar la solubilización de proteínas globulares mediante la modificación de la fuerza iónica del medio. La mezcla fue agitada durante 60 minutos a 500 rpm en un agitador magnético.

De acuerdo a Badjona et al. (2024), el pH de la suspensión fue ajustado entre 10.5 y 11.0 con hidróxido de sodio (NaOH) 1 M, que promueve la disociación de enlaces no covalentes y facilita la solubilización de proteínas como legumina y convicilina.

### **3.4. Recuperación de la proteína**

Luego de aplicar el método de extracción correspondiente, se recuperó la proteína mediante la misma metodología. Para eliminar la fracción insoluble se realizó una centrifugación a 1296 x g (Centrífuga HERMLE Z206A), durante 20 minutos. El sobrenadante fue recuperado y se ajustó su pH a un rango de 4.0 a 4.5 mediante la adición de ácido clorhídrico (HCl) 1 M, para precipitar las proteínas en su punto isoelectrico.



La mezcla reposó durante 1 hora a temperatura ambiente facilitando la formación de agregados proteicos, que fueron posteriormente separados por una segunda centrifugación bajo las mismas condiciones. El concentrado proteico resultante fue congelado a -20 °C y liofilizado durante 48 horas para su almacenamiento y análisis.

#### 4. Variables de Salida

La Tabla 1 presenta las variables de salida con las especificaciones establecidas para determinar los mejores tratamientos, así como los métodos de análisis.

**Tabla 1.** Variables de salida

| <b>Variable de salida</b>           | <b>Especificación</b>     | <b>Referencia</b>        | <b>Método de análisis</b>                                                              | <b>Referencia</b>      |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| <b>Rendimiento proteico</b>         | Más alto<br>(≈100%)       | Kamani et al., 2024      | Determinación de nitrógeno total por el método Kjeldahl (AOAC Oficial Method 978.04)   | AOAC, 2005             |
| <b>Estabilidad espumante (%)</b>    | Más alto<br>(≈100%)       | Cermeño et al., 2024     | Método de espumado por agitación                                                       | Amagliani et al., 2016 |
| <b>Capacidad espumante (%)</b>      | Más alto<br>(≈100%)       | Cermeño et al., 2024     | Método de espumado por agitación                                                       | Amagliani et al., 2016 |
| <b>Estabilidad emulsificante(%)</b> | Más alto<br>(≈100%)       | Cano-Medina et al., 2011 | Centrifugación tras incubación a 80 °C, cálculo por altura de la fase emulsificada (%) | Wang & Kinsella, 1976  |
| <b>Capacidad emulsificante(%)</b>   | Más alto<br>(≈100%)       | Cano-Medina et al., 2011 | Mezcla a alta velocidad con aceite, cálculo por altura de la fase emulsificada (%)     | Wang & Kinsella, 1976  |
| <b>L</b>                            | Más alto<br>(≈100)        | Kamani et al., 2024      | Colorimetría instrumental con escala CIE-Lab*                                          | Kamani et al., 2024    |
| <b>a</b>                            | Más bajo<br>(≈ negativos) | Kamani et al., 2024      | Colorimetría instrumental (coordenada a*)                                              | Kamani et al., 2024    |

|           |                    |                        |                                                     |                        |
|-----------|--------------------|------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------|
| <b>b</b>  | Más alto<br>(≈100) | Kamani et al.,<br>2024 | Colorimetría<br>instrumental<br>(coordenada<br>b*)  | Kamani et<br>al., 2024 |
| <b>WI</b> | Más alto<br>(≈100) | Kamani et al.,<br>2024 | Cálculo a partir de<br>coordenadas (L*, a*<br>y b*) | Kamani et<br>al., 2024 |

#### 4.1. Rendimiento proteico

El rendimiento de extracción representa la eficiencia del proceso para recuperar proteínas desde la materia prima. En este estudio, se determinó el contenido de proteína en 0.5 g de muestra (Balanza analítica ML204T, capacidad máxima 220 g; resolución: 0.1 mg) tanto en la harina de haba (*Vicia faba* L.) como en los aislados obtenidos, utilizando el método Kjeldahl (Official Method 978.04), conforme a AOAC (2005). El contenido total de nitrógeno fue convertido a proteína cruda multiplicando por el factor estándar de conversión de 6.25.

El rendimiento proteico fue calculado como el porcentaje de proteína obtenida en el aislado respecto al contenido inicial en la harina seca, mediante la ecuación 1.

$$\text{Rendimiento (\%)} = \left( \frac{\text{Masa de proteína en el aislado (g)}}{\text{Masa de proteína en la harina original (g)}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Este parámetro permite evaluar la eficiencia comparativa de los tratamientos de extracción aplicados, ya que refleja tanto la capacidad del método para solubilizar las fracciones proteicas como la recuperación efectiva del componente funcional (Kamani, Meera, & Shyamala, 2024).

#### 4.2. Capacidad y estabilidad espumante

Conforme a la metodología modificada de Cermeño et al. (2024), 2.5 g de aislado de proteína de haba (Balanza analítica ML204T, capacidad máxima 220 g; resolución: 0.1 mg) se mezcló en 20 mL de agua destilada, se agitó manualmente durante 2 minutos para facilitar la hidratación y se homogenizó a la velocidad 1 (600 rpm), durante un minuto, en una licuadora

Oster de tres velocidades. La mezcla se transfirió a tubos de centrífuga Falcon graduados de 50 mL. La capacidad espumante (CE) se determinó inmediatamente después del licuado, registrando el volumen total (espuma + líquido) en una probeta de 100 mL, y se aplicó la ecuación 2.

$$CE(\%) = \left( \frac{V_f - V_i}{V_i} \right) \times 100 \quad (2)$$

Donde:

$V_f$  = volumen total tras licuado (espuma + líquido) (mL)

$V_i$  = volumen inicial de la solución (20mL)

La estabilidad espumante (EE) fue calculada (ecuación 3), después de un reposo de 30 minutos a temperatura ambiente, registrando nuevamente el volumen de espuma + líquido (mL) remanente.

$$EE(\%) = \left( \frac{V_{30}}{V_f} \right) \times 100 \quad (3)$$

Donde

$V_{30}$  = volumen de espuma + líquido (mL) a los 30 minutos.

#### **4.3. Capacidad y estabilidad emulsificante**

La capacidad y estabilidad emulsificante se midieron según el procedimiento adaptado de Wang y Kinsella (1976). Se pesaron 250 mg de aislado proteico de haba (Balanza analítica ML204T, capacidad máxima 220 g; resolución: 0.1 mg) y se dispersaron en 25 mL de agua destilada. A esta mezcla se añadió 5 mL de aceite de maíz y se homogeneizó durante 1 minuto a la velocidad 1 (600 rpm) en una licuadora Oster de tres velocidades. Tras la emulsificación, la mezcla se transfirió a tubos de centrífuga graduados (Falcon de 50 mL) y se centrifugó a

2026 x g (Centrífuga HERMLE Z206A) durante 5 minutos. La capacidad emulsificante (CEm) se calculó mediante la ecuación 4.

$$CEm (\%) = \left( \frac{h_e}{h_t} \right) \times 100 \quad (4)$$

Donde

$h_e$  = altura de la capa emulsificada (cm)

$h_t$  = altura total de la muestra (cm)

Para la estabilidad emulsificante (EEm), se incubó previamente la emulsión a 80 °C durante 30 minutos antes de la centrifugación y se calculó la estabilidad emulsificante con la ecuación (4).

#### **4.4. Características Cromáticas (CIE Lab\*)**

Las características cromáticas fueron determinadas con un colorímetro (Chroma meter CR-400) que proporciona valores en el espacio CIE Lab\*, según lo descrito por Kamani et al. (2024). Este sistema permite registrar parámetros clave relacionados con la apariencia del aislado proteico:

L\*: luminosidad (0 = negro, 100 = blanco)

a\*: eje rojo-verde (positivo = rojo, negativo = verde)

b\*: eje amarillo-azul (positivo = amarillo, negativo = azul)

Adicionalmente, se calculó el índice de blancura (WI) según Kamani et al., (2024) con la fórmula 5.

$$WI = 100 - \sqrt{(100 - L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}} \quad (5)$$

WI (índice de blancura)= (0 = negro, 100 = blanco) (ecuación 5)

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Debido a que el haba (*Vicia faba* L.) es una fuente importante de proteínas en la dieta ecuatoriana y se analizaron comparativamente tres metodologías de extracción (micelización, extracción ultrasónica y precipitación alcalino-ácida) considerando el rendimiento proteico obtenido como su efecto sobre propiedades tecnofuncionales clave y atributos estructurales determinantes para su potencial aplicación en productos alimenticios procesados.

Como se observa en la Tabla 2 existió diferencia significativa ( $p < 0,05$ ) únicamente en el rendimiento de los tratamientos.

**Tabla 2.** Resumen del análisis de varianza (ANOVA) de Capacidad espumante (CEs) (%), Estabilidad espumante (EEs)(%), Capacidad emulsificante (CEm) (%), Estabilidad emulsificante (EEm) (%), Rendimiento proteico (R) (%) y Características cromáticas de los tratamientos.

|                      |    | Cuadrados medios |          |          |           |           |                            |          |           |          |
|----------------------|----|------------------|----------|----------|-----------|-----------|----------------------------|----------|-----------|----------|
| Fuentes de Variación | GL | R (%)            | CEs (%)  | EEs (%)  | CEm (%)   | EEm (%)   | Características Cromáticas |          |           |          |
|                      |    |                  |          |          |           |           | L*                         | a*       | b*        | WI       |
| Tratamientos         | 2  | 541,4**          | 0,11n.s. | 0,34n.s. | 18,13n.s. | 17,95n.s. | 0,42n.s.                   | 0.72n.s. | 11,10n.s. | 5,86n.s. |
| Error experimental   | 9  | 168,1            | 3,31     | 4,435    | 20,93     | 21,38     | 12,38                      | 12,22    | 112.26    | 97,43    |
| Total                | 11 | 709,5            | 3,25     | 4,77     | 39,06     | 39,33     | 12,81                      | 12,93    | 123.37    | 103,31   |

**\*\*** significativo al 5% de probabilidad por la prueba F

**n.s.** no significativo al 5% de probabilidad por la prueba F

El rendimiento proteico es una variable crítica que permite evaluar la eficiencia de los métodos de extracción utilizados, al expresar la proporción de proteína recuperada respecto a la contenida en la harina original. En este estudio, se observaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ) entre los tratamientos aplicados, confirmando que el tipo de extracción influyó de forma directa en la cantidad de proteína recuperada (Tabla 2). Como muestra la Tabla 3, la precipitación alcalino-ácida presentó el mayor rendimiento (44,08 %), superando significativamente ( $p < 0,05$ ), a la micelización (30,53 %) y a la extracción asistida por ultrasonido (29,21 %). El efecto combinado de las condiciones alcalinas promueve la ruptura de interacciones no covalentes entre las proteínas y otros componentes de la matriz vegetal, como polisacáridos o compuestos fenólicos y el ajuste a pH ácido induce eficientemente la precipitación de proteínas en su punto isoelectrico (Multari, Stewart, & Russell, 2015).

No obstante, es fundamental considerar que los tratamientos que emplean condiciones extremas de pH, como en el caso del método alcalino-ácido, pueden inducir cierto grado de desnaturalización proteica, afectando su funcionalidad posterior si no se controlan adecuadamente las condiciones del proceso (Foyer et al., 2016). En cambio, los métodos menos agresivos, como la micelización y el ultrasonido, tienden a preservar la estructura nativa de las proteínas debido a que no involucran cambios drásticos de pH ni elevadas temperaturas. Estos procedimientos, al generar modificaciones controladas y mantener la estabilidad conformacional de las proteínas, favorecen una mayor integridad funcional del aislado (Gulzar et al., 2024). Por ejemplo, el tratamiento por ultrasonido facilita el acceso a las proteínas sin comprometer significativamente su estructura terciaria (Gulzar et al., 2024), mientras que la micelización induce agregación controlada en condiciones cercanas al punto isoelectrico, evitando alteraciones agresivas (Jeganathan et al., 2024). En el presente estudio (Tabla 3), no hubo diferencia significativa entre el rendimiento de estos dos métodos de extracción ( $p > 0,05$ ).

**Tabla 3.** Rendimiento proteico (%) de los tratamientos

| Tratamiento                         | Rendimiento proteico (%)* |
|-------------------------------------|---------------------------|
| <b>Precipitación alcalino-ácida</b> | 44,08 ± 6,72a             |
| <b>Micelización</b>                 | 30,53 ± 1,73b             |
| <b>Asistido por ultrasonido</b>     | 29,21 ± 2,80b             |

\*Medias ± desviación estándar

\*Medias seguidas de por lo menos una misma no difieren entre si al 5% de probabilidad de la prueba de Tukey

La relación entre cantidad extraída y calidad funcional debe considerarse al momento de elegir un método de extracción, especialmente según el destino tecnológico o nutricional del aislado. En concordancia con lo encontrado en esta investigación, para Jeganathan et al. (2024), aunque el rendimiento de extracción mediante precipitación alcalino-ácida fue mayor que el alcanzado con técnicas menos agresivas como la micelización y la extracción asistida por ultrasonido, estos últimos métodos preservaron mejor la funcionalidad de las proteínas. A pesar de la mayor eficiencia en recuperación cuantitativa del método alcalino-ácido, no se evidenciaron diferencias significativas en las propiedades espumantes y emulsificantes así como tampoco en las características cromáticas (Tabla 2), reafirmando que el rendimiento no siempre garantiza una mayor calidad funcional del aislado proteico.

Los extractos proteicos obtenidos a partir de *Vicia faba* L., mediante las tres metodologías evaluadas (micelización, ultrasonido y precipitación alcalino-ácido), mostraron una alta capacidad de formación de espuma, superando el 99 % en todos los tratamientos, mientras que la estabilidad espumante se mantuvo en un rango entre 97,35 % y 97,72 % (Tabla 4). Estos datos evidencian un desempeño importante y sugiere un alto potencial para aplicaciones en productos alimenticios aireados, como batidos, masas fermentadas y espumas culinarias (Cermeño et al., 2024). Gulzar et al. (2024), reportaron una capacidad espumante de



98,1 % y una estabilidad del 92,4 % en aislados de haba obtenidos con ultrasonido que fueron inferiores a los reportados en esta investigación, lo cual refleja una eficiente conservación de la integridad superficial de las proteínas y podría atribuirse a las condiciones de extracción empleadas. Por otro lado, en el estudio de Cermeño et al. (2019) las proteínas aisladas de garbanzo y arveja alcanzaron capacidades espumantes entre 96 % y 98 % y estabilidad espumante en el rango de 89 % a 94 %. Por lo tanto, el haba se posiciona como una leguminosa prometedora en términos de comportamiento espumante asociado a la presencia de estructuras globulares (como vicilina y legumina), con regiones anfipáticas capaces de alinearse en la interfaz aire-líquido, facilitando la generación de películas cohesivas que atrapan el gas y previenen su colapso prematuro (Cermeño et al., 2019; Gulzar et al., 2024).

Según lo reportado por Zakidou et al. (2022), los aislados de proteína de haba muestran una superioridad clara frente a los de soya en cuanto a formación de espuma, explicada por una mayor rapidez de adsorción en la interfaz aire-líquido y la formación de capas cohesivas más flexibles. Esto confirma que el efecto espumante del haba no solo es elevado, sino también competitivo respecto a otras fuentes vegetales ampliamente utilizadas en la industria. En el estudio realizado por Zakidou et al. (2022), se utilizaron concentrados de proteína de soya en combinación con polisacáridos como carragenina  $\kappa$  y goma xantana para formular bebidas tipo cappuccino vegetal, con el objetivo de mejorar la formación y estabilidad de espuma. Aunque la soya logró una estabilidad aceptable cuando se incorporaron dichos aditivos, su capacidad espumante inicial fue limitada, requiriendo formulaciones complejas para alcanzar un comportamiento funcional adecuado. En contraste, los mismos autores destacaron que las proteínas de haba (*Vicia faba* L.) poseen un perfil funcional naturalmente más favorable en cuanto a formación de espuma, gracias a su mayor velocidad de adsorción en la interfaz aire-líquido y la formación de capas proteicas más elásticas y cohesivas, lo que permite mantener la espuma durante periodos prolongados sin colapso. Esto sugiere que la proteína de haba,

incluso sin necesidad de agregar polisacáridos estructurantes, podría generar espumas más voluminosas y estables, representando una opción superior para productos aireados como cappuccinos vegetales. Además, su uso facilitaría el desarrollo de formulaciones con etiquetado limpio (clean-label), alineadas con las tendencias actuales del mercado hacia productos naturales y menos procesados. Así, el reemplazo del concentrado de soya por proteína de haba no solo podría simplificar la formulación, sino también mejorar la calidad sensorial y tecnológica del producto final, siendo una vía prometedora para la innovación en la industria de bebidas vegetales espumosas.

Por otro lado, la capacidad emulsificante en los extractos estuvo entre 14,68 % y 17,65 %, y la estabilidad emulsificante en el rango de 14,18 % a 17,11 % (Tabla 4). Estos resultados superaron a la capacidad emulsificante (entre 10,81 % y 15,77 %) y estabilidad emulsificante (entre 10,50 % y 11,51 %) reportada por Singhal et al. (2016). De todas maneras, siguen siendo considerados bajos en comparación con proteínas comerciales como la soya (hasta 53 %) o arveja (alrededor de 40 %), de acuerdo a Stone et al. (2015) y Zhou et al. (2021). La baja eficiencia puede atribuirse a una posible afectación de la estructura molecular de las proteínas extraídas, causada por condiciones del proceso como el pH, la temperatura o el secado, que reducen la exposición de regiones hidrofóbicas necesarias para una buena interacción en la interfase agua/aceite. Además, es probable que los aislados contuvieran otras fracciones como polisacáridos, almidón o compuestos fenólicos, que interfieren en la formación y estabilización de emulsiones al competir por la interfaz o formar complejos con las proteínas. Estos efectos han sido descritos previamente en la literatura, donde se señala que tratamientos térmicos intensos o condiciones de extracción agresivas modifican negativamente la funcionalidad interfacial de las proteínas vegetales, mientras que la presencia de otros componentes no proteicos limitaría su desempeño como agentes emulsificantes (Gentile, 2022).

**Tabla 4.** Capacidad espumante (%), Estabilidad espumante (%), Capacidad emulsificante (%) y Estabilidad emulsificante (%) de los tratamientos.

| Tratamientos               | CEs (%)*     | EEs (%)*     | CEm (%)*     | EEm (%)*     |
|----------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>Micelización</b>        | 99,13 ± 0,77 | 97,35 ± 0,34 | 14,68 ± 2,02 | 14,18 ± 1,94 |
| <b>Ultrasonido</b>         | 99,36 ± 0,52 | 97,72 ± 0,57 | 15,72 ± 0,84 | 15,09 ± 1,15 |
| <b>Alcalino/<br/>Ácido</b> | 99,27 ± 0,42 | 97,38 ± 1,02 | 17,65 ± 1,48 | 17,11 ± 1,43 |

\*Medias ± desviación estándar

\*Medias de 4 repeticiones

Desde un punto de vista funcional, la capacidad emulsificante y la estabilidad emulsificante alcanzada en el presente estudio podrían considerarse bajas, lo que significa que los aislados obtenidos no serían aptos para aplicaciones donde se requiere alta estabilidad y resistencia al estrés físico, como en aderezos líquidos, cremas batidas o productos con larga vida útil. Sin embargo, según Ferawati et al. (2021) y Krause et al. (2023), los aislados y concentrados de proteína de *Vicia faba* L. pueden aplicarse eficazmente en formulaciones alimentarias con menor exigencia interfacial, como productos cárnicos vegetales, rellenos emulsionados cocidos o productos horneados, donde no se requiere una emulsión altamente estable frente al almacenamiento prolongado o al tratamiento térmico intensivo. En estas matrices, las proteínas de haba pueden actuar como co-emulsionantes o agentes funcionales complementarios, mejorando la textura y estabilidad general cuando se combinan con proteínas de mayor desempeño interfacial o hidrocoloides funcionales. Este tipo de aplicación demuestra que, aunque los valores de capacidad y estabilidad emulsificante obtenidos en esta investigación son relativamente bajos, los aislados aún representan una alternativa viable en el

desarrollo de alimentos estructurados con base en plantas y con potencial de optimización tecnológica.

Un aspecto relevante es que, pese a las diferencias en el rendimiento proteico entre los tratamientos, donde la precipitación alcalino-ácida fue superior (44,08 %), no se observaron diferencias significativas en la funcionalidad espumante ni emulsificante entre los métodos. Aunque el tratamiento alcalino-ácido recupera más proteína, podría haber causado desnaturalización parcial que afectó negativamente su funcionalidad. Por el contrario, las metodologías menos agresivas como la micelización y el ultrasonido, a pesar de tener un menor rendimiento, permitieron conservar mejor la integridad de las proteínas, lo que se reflejó en un comportamiento tecnofuncional comparable (Singhal et al., 2016).

En cuanto a las características cromáticas, como se observa en la Tabla 5, los extractos proteicos obtenidos mediante micelización, ultrasonido y precipitación alcalino-ácido presentaron valores de luminosidad ( $L^*$ ) entre 82,85 y 83,27, lo que indica una apariencia clara, cercana al blanco. Este parámetro, que varía de 0 (negro) a 100 (blanco), refleja un color visualmente limpio y uniforme, con ligeras variaciones entre tratamientos. El índice de blancura (WI) cuantifica la percepción de blancura del material y se situó entre 29,66 y 31,20 (Tabla 5), reforzando la percepción de claridad del producto. Aunque no hubo diferencia significativa entre los tratamientos (Tabla 2), el tratamiento por micelización presentó un WI de 31,20, posiblemente asociado a una menor presencia de compuestos cromóforos o a una mayor pureza del extracto (Karaca et al., 2011).

**Tabla 5.** Características cromáticas ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ , WI) de los tratamientos.

| Tratamientos               | Características Cromáticas |                  |                  |                  |
|----------------------------|----------------------------|------------------|------------------|------------------|
|                            | $L^*$<br>**                | $a^*$<br>**      | $b^*$<br>**      | WI<br>**         |
| <b>Micelización</b>        | 83,22 $\pm$ 0,85           | -4,76 $\pm$ 1,44 | 25,79 $\pm$ 4,53 | 31,20 $\pm$ 4,26 |
| <b>Ultrasonido</b>         | 82,85 $\pm$ 1,74           | -4,24 $\pm$ 1,19 | 23,73 $\pm$ 3,17 | 29,66 $\pm$ 2,86 |
| <b>Alcalino/<br/>Ácido</b> | 83,27 $\pm$ 0,61           | -4,75 $\pm$ 0,77 | 25,74 $\pm$ 2,61 | 31,08 $\pm$ 2,48 |

\*\*Medias  $\pm$  desviación estándar

\*\*Medias de 4 repeticiones

La claridad y uniformidad del color observadas son atributos valorados en el desarrollo de alimentos que priorizan la estabilidad visual del producto. Según Kamani et al. (2024), valores de  $L^*$  superiores a 80 y WI por encima de 28 son indicativos de una apariencia estable y comercialmente aceptable en ingredientes funcionales, lo que posiciona favorablemente a los extractos evaluados en este estudio.

Las coordenadas  $a^*$  y  $b^*$ , que describen la tonalidad del color en el espacio CIELAB, mostraron valores negativos en  $a^*$  (entre -4,24 y -4,76), indicando una ligera tendencia hacia el verde, y valores positivos en  $b^*$  (entre 23,73 y 25,79), lo que refleja una inclinación hacia el amarillo (Tabla 5). Esta combinación sugiere una tonalidad verde-amarilla suave, sin saturación marcada, es decir una coloración tenue que puede integrarse fácilmente en matrices alimentarias sin alterar significativamente su apariencia (Stanic et al., 2023). Cermeño et al. (2024) mostraron valores de  $L^*$  entre 78 y 82 y WI de 26 a 29 para proteínas de garbanzo y arveja. De esto se infiere que los aislados de haba generados en este trabajo presentaron una apariencia más brillante y clara, probablemente debido a la combinación de escaldado térmico, extracción en condiciones controladas y secado por liofilización, que limitaron la oxidación y redujeron reacciones de pardeamiento. La extracción de proteínas a pH moderado (entre 8 y 10) ha demostrado preservar el color natural del aislado al reducir la extracción de compuestos

oscuros y minimizar reacciones de pardeamiento, sin comprometer parámetros funcionales como la solubilidad o capacidad emulsificante (López et al., 2018).

Este aspecto es especialmente relevante en el desarrollo de productos alimenticios, donde la apariencia influye significativamente en la aceptación del consumidor. La uniformidad en los parámetros de color también indica que las condiciones de procesamiento no afectaron negativamente la integridad visual de las proteínas aisladas.

En conjunto, los resultados confirman que los procedimientos aplicados permitieron conservar los atributos tecnológicos del aislado proteico de *Vicia faba* L.. Su capacidad para formar espumas estables y mantener un color atractivo demuestra su idoneidad como insumo en formulaciones alimentarias vegetales. Esta evidencia refuerza su valor como alternativa frente a fuentes tradicionales como soya o arveja, especialmente en el desarrollo de productos donde el aspecto visual y las propiedades tecnofuncionales son esenciales.

## CONCLUSIONES

La comparación entre los métodos de extracción: micelización, extracción asistida por ultrasonido y precipitación alcalino-ácida, para obtener aislados proteicos de *Vicia faba* L. de origen ecuatoriano, permitió identificar diferencias relevantes en cuanto al rendimiento y a las propiedades tecnofuncionales de los extractos obtenidos.

La precipitación alcalino-ácida fue el método que alcanzó el mayor rendimiento proteico, lo que confirma su eficacia en términos de recuperación cuantitativa. No obstante, esta eficiencia no se tradujo en ventajas significativas respecto a las propiedades funcionales del aislado, dado que las demás metodologías presentaron comportamientos comparables en términos de propiedades espumantes y emulsificantes.

Los métodos evaluados generaron aislados con propiedades espumantes destacables, superando el 99 % en capacidad de formación de espuma y manteniendo una estabilidad

superior al 97 %. La consistencia observada sugiere que las estructuras proteicas responsables de estas propiedades fueron conservadas de manera eficiente, independientemente del método utilizado. En cuanto a las propiedades emulsificantes, los valores fueron inferiores a los observados en otras leguminosas ampliamente utilizadas en la industria alimentaria, como la soya o la arveja, por lo cual se debe asumir que el aislado proteico de *Vicia Faba* L. no es apto para la formación de emulsiones.

En relación con las características cromáticas, los aislados presentaron una apariencia clara y uniforme, con valores de luminosidad elevados y un índice de blancura favorable. Esta apariencia visual refuerza su potencial como ingrediente funcional, especialmente en formulaciones donde el color del insumo incide en la percepción del producto final (Trejo Rodríguez et al., 2021).

Por lo tanto, *Vicia faba* L. representa una fuente viable de proteína vegetal y los métodos de extracción analizados son adecuados para obtener aislados funcionales. La elección del método óptimo dependerá del propósito tecnológico, es decir si se prioriza el rendimiento o la preservación de características funcionales.

## RECOMENDACIONES

Profundizar en el análisis estructural de las proteínas aisladas mediante técnicas como SDS-PAGE bajo condiciones reductoras y no reductoras, que permitan evaluar la integridad de subunidades proteicas y la presencia de agregados o fragmentaciones. Este análisis complementario resulta fundamental para correlacionar el rendimiento de los métodos de extracción con la preservación estructural de fracciones clave como legumina y vicilina, que son responsables de gran parte de la funcionalidad tecnofuncional en leguminosas.

En especial, sería valioso determinar si el mayor rendimiento observado en el tratamiento por precipitación alcalino-ácida corresponde con una mayor proporción de

proteínas intactas, o si, por el contrario, involucra fracciones parcialmente desnaturalizadas con menor eficiencia interfacial o espumante. La información estructural permitiría validar si los tratamientos menos agresivos, como la micelización o el ultrasonido, aunque menos eficientes en términos cuantitativos, ofrecen ventajas cualitativas al preservar mejor la estructura y funcionalidad de las proteínas.

Adicionalmente, sería interesante ampliar la caracterización funcional incluyendo propiedades como solubilidad, capacidad gelificante o comportamiento térmico, para obtener un perfil más completo que oriente su aplicación en diferentes matrices alimentarias. Estas acciones permitirán optimizar el diseño de procesos y formular ingredientes proteicos de *Vicia faba* L. con mayor valor agregado para la industria alimentaria ecuatoriana e internacional.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Amagliani, L., Silva, J.V.C., Saffon, M., Dombrowski, J., 2021. On the foaming properties of plant proteins: current status and future opportunities. *Trends Food Sci* 118, 261–272. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.10.001>.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2005). *Official Methods of Analysis* (18.<sup>a</sup> ed.). AOAC International.
- Badjona, A., Martinez-Hernandez, G. B., Tovar-Carrillo, K. L., & Martínez-Bustos, F. (2024). Valorization of faba bean (*Vicia faba* L.) protein via ultrasound-assisted extraction: Optimization and functional characterization. *Journal of Food Process Engineering*, 47(2), e14439. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.107030>
- Cano-Medina, A., Jiménez-Islas, H., Rodríguez-Ramírez, J., & Méndez-Lagunas, L. (2011). Propiedades funcionales de concentrados proteicos vegetales y su relación con el procesamiento. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*, 10(1), 79–91. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2010.12.015>
- Cermeño, M., Felix, M., & FitzGerald, R. J. (2019). Assessment of the microstructural characteristics and the in vitro bioactive properties of sunflower oil-based emulsions stabilized by faba bean (*Vicia faba*) protein concentrate. *Food & Function*, 10(10), 6394–6404. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105220>
- Cermeño, M., Silva, J. V. C., Arcari, M., & Denkel, C. (2024). Foaming properties of plant protein blends prepared using commercial faba bean and hemp protein concentrates at different faba bean/hemp protein ratios. *Food Hydrocolloids*, 146, 109387. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.115948>



- Dangi, P., Chaudhary, N., Paul, A., Prabha, S., Kumar, R., & Poonia, A. (2022). Faba bean proteins: Extraction methods, properties and applications. En S. Punia Bangar & S. Bala Dhull (Eds.), *Faba bean: Chemistry, properties and functionality* (pp. 245–273). Springer Nature Switzerland AG. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-14587-2\\_10](https://doi.org/10.1007/978-3-031-14587-2_10)
- Foyer, C. H., Lam, H. M., Nguyen, H. T., Siddique, K. H. M., Varshney, R. K., Colmer, T. D., ... & Considine, M. J. (2016). Neglecting legumes has compromised human health and sustainable food production. *Nature Plants*, 2(8), 16112. <https://doi.org/10.1038/nplants.2016.112>
- Gentile, L. (2022). Protein–polysaccharide interactions and aggregates in food formulations. arXiv, 2201.09250. Disponible en: <https://arxiv.org/abs/2201.09250>
- Gulzar, S., Martín-Belloso, O., & Soliva-Fortuny, R. (2024). Tailoring the Techno-Functional Properties of Fava Bean Protein Isolates: A Comparative Evaluation of Ultrasonication and Pulsed Electric Field Treatments. *Foods*, 13(3), 376. <https://doi.org/10.3390/foods13030376>
- Grand View Research. (2021). Plant-based protein market size, share & trends analysis report by source (soy, wheat, pea), by application (animal feed, food & beverages, nutraceuticals), by region, and segment forecasts, 2021 - 2028. <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/plant-based-protein-market>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos – INEC. (2022). Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) 2022. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/>
- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias – INIAP. (2023). Variedad mejorada de haba (*Vicia faba* L.) de grano grande para consumo en tierno: INIAP 442 Sultana (Plegable No. 488). <https://www.iniap.gob.ec/>
- Jeganathan, B., Nyambayo, I. T., Sayeed, M. A., & Aluko, R. E. (2024). Isolation of clean-label faba bean (*Vicia faba* L.) proteins using mild micellization and ultrasound-assisted methods. *LWT - Food Science and Technology*, 196, 115134. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2023.103285>
- Jiménez-Martínez, C., Hernández-Sánchez, H., & Dávila-Ortiz, G. (2003). Heat and alkaline treatments for the production of functional protein isolates from defatted amaranth flour. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(20), 5785–5791. <https://www.researchgate.net/publication/285229269>
- Kamani, M. H., Meera, M. S., & Shyamala, B. N. (2024). Functional, nutritional and structural characteristics of legume-based protein isolates: Impact of extraction methods. *Journal of Food Engineering*, 358, 111777. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101200>
- Karaca, A. C., Low, N., & Nickerson, M. (2011). Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. *Food Research International*, 44(9), 2742–2750. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>

- López, C. A., Vázquez, M., & Olivares, D. M. (2018). Optimización de la extracción de proteínas de legumbres bajo pH moderado. *Revista Chilena de Nutrición*, 45(3), 241–248. DOI:10.12873/3944supcongreso
- Multari, S., Stewart, D., & Russell, W. R. (2015). Potential of fava bean as future protein supply to partially replace meat intake in the human diet. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 14(5), 511–522. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12146>
- Njuki, J., Eissler, S., Malapit, H. J. L., Meinzen-Dick, R., Bryan, E., & Quisumbing, A. R. (2023). A review of evidence on gender equality, women's empowerment, and food systems. In *Science and Innovations for Food Systems Transformation* (pp. 165–189). Cham: Springer Nature. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5\\_9](https://doi.org/10.1007/978-3-031-15703-5_9)
- Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987–992. <https://doi.org/10.1126/science.aag0216>
- Sheikh, M., Safari, M., & Yousefi, M. (2023). Extraction and characterization of protein isolates from faba bean (*Vicia faba* L.) using different pH and ionic strength. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 241–249.
- Singhal, R. S., Kulkarni, P. R., & Rege, D. V. (2016). Functional properties of plant proteins with special reference to legume-based ingredients. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 279–292.
- Stanic, S., Radusin, T. I., Mandić, A., Sakač, M., & Torbica, A. (2023). Physicochemical and functional properties of protein isolates and hydrolysates from different pulse types. *Foods*, 12(14), 2805. <https://doi.org/10.3390/foods12142805>
- Stone, A. K., Karalash, A., Tyler, R. T., Warkentin, T. D., & Nickerson, M. T. (2015). Functional attributes of pea protein isolates prepared using different extraction methods and cultivars. *Food Research International*, 76, 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.11.017>
- Trejo Rodríguez, I. S., Alcántara Quintana, L. E., Algara Suarez, P., Ruiz Cabrera, M. A., & Grajales Lagunes, A. (2021). Physicochemical Properties, Antioxidant Capacity, Prebiotic Activity and Anticancer Potential in Human Cells of Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus*) Seed Flour. *Molecules*, 26(16), 4854. <https://doi.org/10.3390/molecules26164854>
- Wang, J. C., & Kinsella, J. E. (1976). Functional properties of novel proteins: Alfalfa leaf protein. *Journal of Food Science*, 41(2), 286–292. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1976.tb00602.x>
- Zakidou, P., Varka, E.-M., & Paraskevopoulou, A. (2022). Foaming properties and sensory acceptance of plant-based beverages as alternatives in the preparation of cappuccino style beverages. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 30, 100623. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100623>

- Zielińska-Dawidziak, M., Siger, A., Kaczmarek, A., & Nowak, M. (2024). Interactions between lipids and proteins in legume-based food matrices—A review. *Foods*, 13(15), 2372. <https://doi.org/10.3390/foods13152372>
- Zhou, X., Zhang, C., Cao, W., Zhou, C., Zheng, H., & Zhao, L. (2021). A comparative functional analysis of pea protein and grass carp protein mixture via blending and Co-precipitation. *Foods* 2021, 10, 3037. <https://doi.org/10.3390/FOODS10123037> , 10(12), 3037–3037.