



Vol. 1 Núm. 2 2025- ISSN: 3119-7132 (En línea)

Recibido: 30 Octubre 2025

Aceptado: 20 Diciembre 2025

ARTÍCULO ORIGINAL

<https://doi.org/10.58719/b44a1y54>**MODULACIÓN DE LA FUNCIONALIDAD TECNOLÓGICA DE HARINA DE FRIJOL CAUPÍ (*Vigna unguiculata*) (Var. Chiclayo marrón) MEDIANTE CLASIFICACIÓN POR TAMAÑO DE PARTÍCULA****MODULATION OF THE TECHNOLOGICAL FUNCTIONALITY OF COWPEA BEAN FLOUR (*Vigna unguiculata*) (Var. Chiclayo marron) BY PARTICLE SIZE CLASSIFICATION**Frances Pasquel-Grández¹Ronald Lozano-Reátegui²¹Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, Pucallpa, Perú**Correspondencia:**

Dr. Ronald Marlon Lozano Reátegui

rlozanor@unia.edu.pe**Cómo citar este artículo:** Pasquel-Grández, F., & Lozano-Reátegui, R. (2025). Modulación de la funcionalidad tecnológica de harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) (Var. Chiclayo marrón) mediante clasificación por tamaño de partícula. *Revista de Investigación Intercultural Asampitakoyete*, 1(2), 50 – 59.<https://doi.org/10.58719/b44a1y54>**Resumen**

La harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) presenta un alto potencial funcional en sistemas alimentarios, aunque el efecto de la granulometría sobre sus propiedades ha sido poco estudiado. Este estudio evaluó la influencia del tamaño de partícula en las propiedades fisicoquímicas y tecno funcionales de la harina de frijol caupí, variedad Chiclayo marrón. Mediante molienda y tamizado se obtuvieron tres fracciones (60, 120 y 200 mesh), en las que se determinaron pH, acidez titulable, cenizas, humedad; así como, la capacidad de absorción de agua y aceite, capacidad espumante, emulsificante y de hinchamiento. Los ensayos se realizaron por triplicado y se analizaron mediante ANOVA y prueba de Tukey ($p < 0,05$). La reducción del tamaño de partícula disminuyó el rendimiento del fraccionamiento, pero incrementó significativamente la absorción de agua y aceite y la capacidad espumante. La capacidad emulsificante mostró un comportamiento no lineal; mientras que, la capacidad de hinchamiento no dependió de la granulometría. Estos resultados confirman que la clasificación por tamaño de partícula es una estrategia eficaz, para modular la funcionalidad de la harina de frijol caupí.

Palabras clave: *Vigna unguiculata*, granulometría, funcionalidad tecnológica, capacidad de retención, harina funcional.

Abstract

Cowpea flour (*Vigna unguiculata*) has high functional potential in food systems, although the effect of particle size on its properties has been little studied. This study evaluated the influence of particle size on the physicochemical and techno-functional properties of cowpea flour, specifically the Chiclayo Marron variety. Three fractions (60, 120, and 200 mesh) were obtained by milling and sieving. pH, titratable acidity, ash, and moisture content were



determined, as well as water and oil absorption capacity, foaming capacity, emulsifying capacity, and swelling capacity. The tests were performed in triplicate and analyzed using ANOVA and Tukey's test ($p < 0.05$). Reducing the particle size decreased the fractionation yield but significantly increased water and oil absorption and foaming capacity. Emulsifying capacity showed a non-linear behavior, while swelling capacity was independent of particle size. These results confirm that particle size classification is an effective strategy for modulating the functionality of cowpea flour.

Keywords: *Vigna unguiculata*, granulometry, technological functionality, retention capacity, functional flour.

INTRODUCCIÓN

Las harinas obtenidas a partir de leguminosas han cobrado creciente relevancia en la industria alimentaria debido a su aporte de proteínas, fibra dietética y compuestos bioactivos; así como, por su funcionalidad tecnológica en sistemas alimentarios complejos (Olanmi et al., 2024). Propiedades como la absorción de agua y aceite, la formación de espumas, la emulsificación y el hinchamiento condicionan el desempeño de estos ingredientes durante el procesamiento y su comportamiento en productos finales.

Entre los factores que influyen en dichas propiedades, la granulometría desempeña un papel determinante, ya que modifica el área superficial específica, la exposición de macromoléculas y la interacción entre los componentes estructurales de la harina. Diversos estudios han demostrado que la reducción del tamaño de partícula puede alterar significativamente las propiedades tecnofuncionales de harinas vegetales, particularmente en matrices ricas en proteínas y almidón (Ahmed et al., 2016; Jima et al., 2025; Singh & Koksel, 2021).

En el caso de las leguminosas, se ha reportado que las fracciones de menor tamaño de partícula tienden a presentar mayores capacidades de absorción y cambios en el comportamiento funcional, ampliando sus potenciales aplicaciones industriales (Yu et al., 2023). Asimismo, investigaciones en otras especies subutilizadas, como el frijol *jack bean*, evidencian que la clasificación granulométrica genera variaciones significativas en propiedades

funcionales clave, lo que refuerza la relevancia del tamaño de partícula como variable tecnológica (Anuntagool & Soonthonsun, 2023).

El frijol caupí (*Vigna unguiculata*) constituye una leguminosa de alto valor nutricional y amplia disponibilidad en regiones tropicales y subtropicales. A pesar de su potencial como ingrediente funcional, la información sobre el efecto del tamaño de partícula en las propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales de su harina sigue siendo limitada, especialmente para clases comerciales específicas como Chiclayo marrón. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la influencia del tamaño de partícula en las propiedades fisicoquímicas y tecnofuncionales de la harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata*) (Var. Chiclayo marrón).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de ejecución

El trabajo experimental se realizó en los Laboratorios de Poscosecha y de Procesos Agroindustriales, adscritos a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Ambientales de la Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia, ubicada en el km 0.63 de la carretera a San José, distrito de Yarinacocha, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali, Perú.

Materia prima

Los granos de frijol caupí (*Vigna unguiculata*), correspondientes a la clase comercial Chiclayo

marrón, fueron adquiridos en un mercado local del km 6, Habilidad Urbana Municipal, km. 6, distrito de Manantay, provincia de Coronel Portillo, región Ucayali. Los reactivos empleados fueron de grado analítico y se obtuvieron de proveedores comerciales reconocidos.

Obtención de la harina de frijol caupí

Los granos de frijol caupí fueron seleccionados manualmente para eliminar impurezas y semillas dañadas. Posteriormente, se molieron en un molino de laboratorio marca X, modelo MPG, de acero inoxidable AISI-304, con una potencia de 1.5 HP, equipado con tamices de 500 μm , ajustado a 10 000 rpm, hasta obtener una harina homogénea con una distribución de partículas < 500 μm . La molienda se realizó en intervalos de 30 s con descansos de 10 s, para evitar el sobrecalentamiento de la muestra. La harina resultante se almacenó en bolsas herméticas tipo Ziploc a 26 ± 2 °C hasta su análisis posterior.

Fraccionamiento por tamaño de partícula

La harina de frijol caupí fue fraccionada mediante un sistema de tamizado mecánico, utilizando tamices estándar con aberturas correspondientes a tamaños de partícula de 250, 125 y 74 μm (equivalentes a 60, 120 y 200 mesh, respectivamente). Las fracciones obtenidas se recolectaron y clasificaron de acuerdo con su intervalo granulométrico, y cada una fue analizada de manera independiente.

Análisis fisicoquímicos de la harina de frijol caupí

Los análisis fisicoquímicos incluyeron la determinación del pH, la acidez titulable (%) y el contenido de cenizas (%). El pH se determinó según el método AOAC 981.12, mediante medición potenciométrica directa. La acidez titulable se evaluó por AOAC 942.15, expresándose como porcentaje (%) de ácido equivalente. El contenido de cenizas se determinó según método AOAC 923.03, mediante incineración en mufla. Todos los análisis se realizaron por triplicado, para cada fracción granulométrica.

Determinación de las propiedades tecno funcionales

Las propiedades tecno funcionales de las diferentes fracciones de harina se determinaron mediante métodos analíticos previamente descritos en la literatura, con ligeras modificaciones. La capacidad de absorción de agua y de aceite se evaluó siguiendo el método propuesto por Sosulski et al. (1976). La capacidad de hinchamiento, de acuerdo con el procedimiento descrito por Leach et al. (1959). La capacidad espumante se analizó conforme a la metodología de Coffmann & García, (1977); mientras que, la capacidad emulsificante según el método de Beuchat, (1977). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó utilizando el software Statgraphics Centurión XVIII. Los resultados se expresaron como media y desviación estándar. Las diferencias entre las fracciones según el tamaño de partícula se evaluaron mediante análisis de varianza (ANOVA), y la comparación de medias se efectuó mediante la prueba de Tukey, considerando un nivel de significancia de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Distribución granulométrica y rendimiento de las fracciones

La Tabla 1 presenta la masa de harina recuperada y el rendimiento porcentual promedio de las fracciones obtenidas, mediante tamizado, en función del tamaño de partícula. El análisis de la distribución granulométrica mostró que la reducción progresiva del tamaño de partícula estuvo asociada a una disminución significativa en la masa recuperada y en el rendimiento porcentual de las fracciones obtenidas. Las partículas de mayor tamaño concentraron la mayor proporción de harina recuperada; mientras que, las fracciones más finas representaron una fracción menor del total, lo que refleja el efecto de la eficiencia del proceso de molienda y tamizado sobre la recuperación de material.

Tabla 1*Masa recuperada y rendimiento de las fracciones de harina obtenidas por tamizado*

Tipo de Tamiz	Harina recuperada (g)	Rendimiento (%)
# 60	76,66 ± 4,16 ^a	38,67 ± 1,72 ^a
# 120	61,10 ± 0,23 ^b	30,50 ± 0,13 ^b
# 200	18,52 ± 2,41 ^c	9,69 ± 0,64 ^c

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3). Promedios seguidos de letras diferentes en superíndice (a, b) son estadísticamente diferentes según prueba de Tukey (p: < 0.05).

Propiedades fisicoquímicas de las fracciones de harina

En la Tabla 2 se presentan los valores de pH, acidez titulable, contenido de cenizas y humedad de las fracciones de harina de frijol caupí obtenidas por tamizado. Las diferencias entre fracciones se evaluaron en función del tamaño de partícula.

El tamaño de partícula influyó de manera

significativa en el pH de las fracciones de harina, observándose valores más elevados en las partículas de mayor granulometría. En contraste, la acidez titulable y el contenido de cenizas no presentaron variaciones estadísticamente significativas entre fracciones, lo que indica una composición mineral y ácida comparable independientemente del tamaño de partícula. Por su parte, las fracciones más finas mostraron un mayor contenido de humedad.

Tabla 2*pH, acidez (%) y cenizas (%) de las fracciones de harina*

Tipo de Tamiz	pH	Acidez (%)	Cenizas (%)	Humedad (%)
# 60	6,20 ± 0,10 ^a	0,90 ± 0,06 ^a	1,97 ± 0,01 ^a	8,42 ± 0,14 ^b
# 120	6,00 ± 0,06 ^b	0,80 ± 0,10 ^a	1,97 ± 0,01 ^a	8,55 ± 0,02 ^{ab}
# 200	5,90 ± 0,10 ^b	0,90 ± 0,06 ^a	1,97 ± 0,01 ^a	8,60 ± 0,02 ^a

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3). Promedios en la misma columna con letras diferentes difieren significativamente según prueba de Tukey (p < 0.05).

Propiedades tecno funcionales de las fracciones de harina

Capacidad de absorción de agua

La Tabla 3 muestra la capacidad de absorción de agua (CAA) de las fracciones de harina de frijol caupí obtenidas por tamizado, expresada como g de agua/g de muestra. y permiten evaluar el efecto

del tamaño de partícula sobre esta propiedad tecno funcional. La capacidad de absorción de agua se vio significativamente afectada por la granulometría de la harina. Se evidenció una tendencia creciente de esta propiedad a medida que disminuyó el tamaño de partícula.

Tabla 3*Capacidad de absorción de agua (CAA) de las fracciones de harina de frijol caupí*

Tipo de Tamiz	CAA (g agua/g muestra)
# 60	1,40 ± 0,01 ^c
# 120	1,47 ± 0,05 ^b
# 200	2,17 ± 0,59 ^a

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 3). Medias con letras diferentes difieren significativamente según prueba de Tukey (p < 0.05).

Capacidad de absorción de aceite

La Tabla 4 muestra la capacidad de absorción de aceite (CAG) de las fracciones de harina de frijol caupí obtenidas por tamizado, expresada como

g de aceite por g de muestra. De manera similar, la capacidad de absorción de aceite aumentó significativamente en las fracciones de menor tamaño de partícula.

Tabla 4*Capacidad de absorción de aceite (CAG) de las fracciones de harina de frijol caupí*

Tipo de Tamiz	CAG (g aceite/g muestra)
# 60	0,91 ± 0,01 ^c
# 120	1,10 ± 0,00 ^b
# 200	3,13 ± 0,01 ^a

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3). Promedios en la misma columna con letras diferentes difieren significativamente según prueba de Tukey (p < 0.05).

Capacidad espumante

En la Tabla 5 se muestra el efecto del tamaño de partícula (granulometría) sobre la capacidad espumante, utilizando tres niveles de molienda: tamiz # 60, # 120 y # 200. El comportamiento

espumante de la harina estuvo claramente influenciado por la granulometría. Las fracciones más finas presentaron una capacidad espumante significativamente superior.

Tabla 5*Capacidad espumante según el tipo de tamiz*

Tipo de Tamiz	Capacidad Espumante (% V/V)
# 60	49,66 ± 0,02 ^b
# 120	50,00 ± 0,01 ^b
# 200	57,30 ± 0,01 ^a

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n = 3). Los promedios seguidos de letras diferentes en superíndice (a, b) son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey (p < 0.05).

Tabla 6*Capacidad emulsificante según el tipo de tamiz*

Tipo de Tamiz	Capacidad Emulsificante (% V/V)
# 60	56,15 ± 0,01 ^a
# 120	55,00 ± 0,02 ^b
# 200	56,15 ± 0,01 ^a

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3). Promedios seguidos de letras diferentes en superíndice (a, b) son estadísticamente diferentes según prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Capacidad de hinchamiento

La capacidad de hinchamiento, mostrada en la Tabla 7, expresa la habilidad de un material para absorber agua y aumentar su volumen, y puede estar

influenciada por el tamaño de partícula. La capacidad de hinchamiento no presentó diferencias estadísticamente significativas entre las fracciones evaluadas.

Tabla 7*Capacidad de hinchamiento según tipo de tamiz*

Tipo de Tamiz	Capacidad de Hinchamiento (mL/g muestra)
# 60	0,52 ± 0,00 ^a
# 120	0,52 ± 0,01 ^a
# 200	0,52 ± 0,01 ^a

Nota: Valores expresados como media ± desviación estándar (n=3). Promedios seguidos de letras diferentes en superíndice (a, b) son estadísticamente diferentes según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

DISCUSIÓN**Influencia de la granulometría en el rendimiento de las fracciones**

La disminución progresiva del rendimiento porcentual y de la masa recuperada observada al reducir el tamaño de partícula concuerda con el comportamiento reportado para harinas de leguminosas y cereales, donde las fracciones gruesas representan una mayor proporción del material total tras el tamizado. Este patrón se atribuye a la eficiencia del proceso de molienda y a la menor retención física de las partículas finas, las cuales suelen generarse en menor cantidad y pueden perderse durante la clasificación granulométrica. Desde una perspectiva tecnológica, este resultado es relevante, ya que las fracciones de mayor

tamaño ofrecen ventajas en términos de rendimiento industrial cuando se busca la obtención de ingredientes funcionales a escala productiva (Bala et al., 2020).

Esto concuerda con lo reportado por Dziki et al. (2024), quienes indican que al disminuir el tamaño del tamiz se reduce la cantidad de material que lo atraviesa, favoreciendo la acumulación de partículas más gruesas en tamices de mayor apertura y, en consecuencia, disminuyendo el rendimiento de las fracciones finas, lo cual se explica porque la distribución del tamaño de partícula desempeña un papel determinante en la eficiencia del tamizado y en la extracción de harina, dado que las partículas

de menor tamaño presentan un comportamiento diferencial al pasar por tamices de mayor apertura y quedar retenidas progresivamente en los de malla más fina.

Con respecto al análisis estadístico con letras distintas, muestra que cada nivel de tamiz produce fracciones significativamente diferentes en masa recuperada y rendimiento. Esto es consistente con trabajos realizados por Almeida et al. (2024), que han reportado que la fracción de partículas finas y gruesas difiere en composición y en rendimiento durante el tamizado, lo que a su vez cambia su funcionalidad y rendimiento general.

El mayor rendimiento en tamices grandes y baja recuperación en tamices finos refleja que, la distribución de tamaño de partícula de la harina inicial está sesgada hacia partículas relativamente más grandes, lo cual es típico cuando la molienda no es excesivamente fina o cuando la harina contiene mayor proporción de estructuras dimensionadas por endospermo y salvado residual.

Efecto del tamaño de partícula sobre propiedades fisicoquímicas

Las variaciones de pH entre fracciones sugieren que la granulometría influye en la distribución de compuestos solubles presentes en la harina, posiblemente como consecuencia de la redistribución de componentes ácidos o básicos inducida por la molienda. Comportamientos similares han sido descritos en harinas de leguminosas y pseudocereales, donde la reducción del tamaño de partícula se asocia con cambios en la interacción de los grupos funcionales con el agua. De manera consistente, Anuntagool & Soonthonsun, (2023) reportaron que la clasificación por tamaño de partícula en harinas de legumbres modifica propiedades fisicoquímicas, incluyendo cristalinidad, solubilidad y capacidad de hinchamiento, lo que evidencia la importancia de la fracción de tamaño en la funcionalidad de la harina.

El mayor contenido de humedad registrado en las fracciones finas puede explicarse por el incremento del área superficial específica, lo que favorece la retención de agua, en concordancia con lo reportado para harinas de teff y otras matrices vegetales (Jima et al., 2025; Olakanmi et al., 2024). Además, hallazgos de Min et al. (2025) muestran que procesos de modificación de harina, como la germinación y fermentación, mejoran la estabilidad estructural de la masa y promueven la formación de redes proteicas, incrementando propiedades funcionales y texturales; así como, el contenido de compuestos bioactivos y la actividad antioxidante. Estos resultados sugieren que, la manipulación de las fracciones de harina, bien sea por reducción de tamaño de partícula o mediante tratamientos biológicos, constituye una estrategia eficaz para modular simultáneamente la funcionalidad tecnológica y el valor nutricional de productos derivados de legumbres.

Efecto de la granulometría en propiedades de absorción

Capacidad de absorción de agua y aceite

El incremento significativo de la capacidad de absorción de agua y de aceite en las fracciones más finas confirma que la reducción del tamaño de partícula potencia la exposición de grupos hidrofílicos y lipofílicos, facilitando la interacción con fluidos polares y no polares. Este comportamiento ha sido ampliamente documentado en harinas de leguminosas y pseudocereales, donde las partículas finas presentan mayor afinidad por agua y aceite debido a su estructura más abierta y mayor superficie específica. En harinas de habas, las fracciones más finas mejoraron propiedades funcionales como la capacidad de gelificación y emulsión, indicando una mayor interacción con líquidos (Olakanmi et al., 2024). De manera consistente, Higa et al. (2022) demostraron que el tamaño de partícula, la relación harina: agua y el tipo de legumbre afectan significativamente las propiedades fisicoquímicas y funcionales, incluyendo la absorción de agua y

aceite. Asimismo, en harinas de teff, la disminución de granulometría incrementa propiedades funcionales, de empastado y reológicas, reforzando la importancia de la fracción de tamaño en la funcionalidad tecnológica de las harinas (Jima et al., 2025). Desde el punto de vista tecnológico, estas propiedades resultan ventajosas para aplicaciones en productos de panificación, formulaciones cárnicas y sistemas alimentarios complejos que requieren mayor retención de humedad y estabilidad de la matriz (Bala et al., 2020).

Comportamiento espumante y emulsificante según el tamaño de partícula

El incremento de la capacidad espumante observado en las fracciones más finas puede atribuirse a una mayor disponibilidad de proteínas solubles y otros compuestos con actividad superficial, lo que favorece la rápida adsorción y estabilización de la interfaz aire-agua. En harinas de leguminosas, la reducción del tamaño de partícula inducida por la molienda ha sido asociada con un aumento de la solubilidad proteica y de la exposición de grupos funcionales, factores que mejoran la formación y estabilidad de espumas (Guldiken et al., 2022; Higa et al., 2022). Estos autores señalaron que la fragmentación de la matriz favorece la difusión de proteínas hacia la interfaz, promoviendo la formación de películas interfaciales más cohesivas. En contraste, la capacidad emulsificante presentó un comportamiento no lineal, con valores comparables entre fracciones gruesas y finas, lo que indica que esta propiedad no depende exclusivamente de la granulometría; sino también la distribución y conformación de los componentes proteicos influyen en la formación y estabilidad de emulsiones aceite-agua.

De acuerdo con Rivera et al. (2024), la eficiencia emulsificante de proteínas de leguminosas está regida principalmente por características estructurales y moleculares, como la flexibilidad conformacional, el grado de desnaturalización,

la carga superficial y el balance entre dominios hidrofílicos e hidrofóbicos, más que por el tamaño de partícula *per se*. En concordancia, Olakanmi et al. (2024) reportaron que, aunque la reducción del tamaño de partícula mejora notablemente la capacidad espumante, su efecto sobre la emulsificación es limitado cuando no se producen modificaciones sustanciales en la estructura proteica. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de considerar, tanto la granulometría como la conformación molecular de las proteínas para optimizar la funcionalidad interfacial de harinas de leguminosas.

Capacidad de hinchamiento y su independencia de la granulometría

La ausencia de diferencias significativas en la capacidad de hinchamiento entre las fracciones evaluadas sugiere que, esta propiedad está determinada principalmente por la composición intrínseca de la harina, en particular por la proporción, organización y accesibilidad del almidón; así como, por su interacción con la fibra y otros polisacáridos, más que por el tamaño de partícula dentro del rango analizado. Estudios en diversas matrices vegetales han demostrado que el hinchamiento está estrechamente ligado a la estructura interna del gránulo de almidón y a las condiciones de hidratación, mientras que la granulometría ejerce un efecto secundario cuando no se altera significativamente la integridad estructural del material. En este sentido, Jima et al. (2025) y Guldiken et al. (2022) reportaron que la capacidad de hinchamiento en harinas de teff y leguminosas, respectivamente, mostró una baja dependencia del tamaño de partícula, siendo más sensible a la relación amilosa/amilopectina y al contenido de fibra. De manera concordante, Olakanmi et al. (2024) y Anuntagool & Soonthonsun, (2023) señalaron que la organización supramolecular del almidón y la disponibilidad de agua son factores determinantes del hinchamiento, lo que respalda los resultados observados en el presente estudio.

CONCLUSIONES

El tamaño de partícula influyó de manera significativa en el desempeño tecnológico funcional de la harina de frijol caupí (*Vigna unguiculata*, Var. Chiclayo marrón), afectando tanto el rendimiento de las fracciones obtenidas por tamizado como propiedades clave asociadas a la interacción con sistemas acuosos y lipídicos.

Las fracciones de menor granulometría presentaron incrementos significativos en la capacidad de absorción de agua y de aceite; así como, en la capacidad espumante, lo cual se atribuye al aumento del área superficial específica y a una mayor exposición de grupos funcionales y proteínas con actividad interfacial.

Las propiedades fisicoquímicas evaluadas se vieron solo parcialmente influenciadas por la granulometría; mientras que, la capacidad emulsificante mostró un comportamiento no lineal, evidenciando que esta propiedad depende de factores estructurales más complejos que el tamaño de partícula por sí solo. Asimismo, la capacidad de hinchamiento permaneció independiente de la granulometría en el rango analizado, corroborando que esta propiedad está principalmente regida por la composición intrínseca del material y la organización estructural del almidón.

Los resultados evidencian que el control de la granulometría constituye una herramienta tecnológica relevante, para modular selectivamente la funcionalidad de la harina de frijol caupí, permitiendo optimizar su uso como ingrediente en el desarrollo de productos alimentarios con propiedades específicas de hidratación, estabilidad y estructura.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ahmed, J., Al-Attar, H., & Arfat, Y. (2016). Effect of particle size on compositional, functional, pasting and rheological properties of commercial water

chestnut flour. *Food Hydrocolloids*, 52, 888-895. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2015.08.028>

Almeida, M., Wanderley, B., de Francisco, A., Amante, E., Fritzen, C., Helm, C., & Amboni, R. (2024). Effects of particle size on the physical, chemical, and technological properties of pre-gelatinized whole pinhão (*Araucaria angustifolia*) flour. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 18(7), 5695-5709. DOI:10.1007/s11694-024-02599-3

Anuntagool, J., & Soonthonsun, S. (2023). Effect of particle size classification on properties of flour from jack bean: An under-utilized high protein legumes. *LWT*, 189, 115418. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115418>

AOAC International. (2019). *Official methods of analysis of AOAC International* (21st ed.). AOAC International.

Bala, M., Handa, S., & Singh, R. (2020). Physicochemical, functional and rheological properties of grass pea (*Lathyrus sativus* L.) flour as influenced by particle size. *Heliyon*, 6(11), e05471. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05471>

Beuchat, L. (1977). Functional and electrophoretic characteristics of succinylated peanut flour protein. *Journal of Agricultural and Food chemistry*, 25(2), 258-261. <https://doi.org/10.1021/jf60210a044>

Coffmann, C., & Garcia, V. (1977). Functional properties and amino acid content of a protein isolate from mung bean flour. *International Journal of Food Science & Technology*, 12(5), 473-484. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1977.tb00132.x>

Dziki, D., Krajewska, A., & Findura, P. (2024). Particle

- size as an indicator of wheat flour quality: A review. *Processes*, 12(11), 2480. <https://doi.org/10.3390/pr12112480>
- Guldiken, B., Franczyk, A., Boyd, L., Wang, N., Choo, K., Sopiwnyk, E., House, J., Paliwal, J., & Nickerson, M. (2022). Impact of milling on the functional and physicochemical properties of green lentil and yellow pea flours. *Cereal Chemistry*, 99(1), 218-229. <https://doi.org/10.1002/cche.10504>
- Higa, F., Boyd, L., Sopiwnyk, E., & Nickerson, M. (2022). Effect of particle size, flour: water ratio and type of pulse on the physicochemical and functional properties of wet protein extraction. *Cereal Chemistry*, 99(5), 1049-1062. <https://doi.org/10.1002/cche.10552>
- Jima, B., Abera, A., & Kuyu, C. (2025). Effect of Particle Size on Compositional, Functional, Pasting, and Rheological Properties of Teff [*Eragrostis teff* (zucc.) Trotter] Flour. *Applied Food Research*, 5 (1), 100986. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2025.100986>
- Leach, H. (1959). Structure of starch granule I. Swelling and solubility patterns of various starches. *Cereal Chemistry*, 36, 534-544
- Min, Z., Zheng, T., Wang, J., Hu, W., Yang, Q., & Kong, Y. (2025). Physicochemical Properties of Sprouted Fava Bean Flour–Fermented Red Rice Flour Mixed System and Its Application in Gluten-Free Noodles. *Foods*, 14(24), 4302. <https://doi.org/10.3390/foods14244302>
- Olakanmi, S., Jayas, D., Paliwal, J., & Aluko, R. (2024). Impact of Particle Size on the Physicochemical, Functional, and *In Vitro* Digestibility Properties of Fava Bean Flour and Bread. *Foods*, 13(18), 2862. <https://doi.org/10.3390/foods13182862>
- Rivera, J., Siliveru, K., & Li, Y. (2024). A comprehensive review on pulse protein fractionation and extraction: Processes, functionality, and food applications. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 64(13), 4179-4201. doi: 10.1080/10408398.2022.2139223
- Singh, R., & Koksel, F. (2021). Effects of particle size distribution and processing conditions on the techno-functional properties of extruded soybean meal. *LWT*, 152, 112321. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112321>
- Soluski, F., Humbert, E., Bui, K., & Jones, J. D. (1976). Functional. properties of rapeseed flours, concentrates and isolate. *Journal of Food Science*, 41, 1349-1352. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1976.tb01168.x>
- Yu, S., Wu, Y., Li, Z., Wang, C., Zhang, D., & Wang, L. (2023). Effect of different milling methods on physicochemical and functional properties of mung bean flour. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1117385. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1117385>