



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos
(FoodUPV)

PERFIL NUTRICIONAL DE LA VAINA DEL HABA (Vicia
faba) Y PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES DE SU
HARINA

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad
Alimentaria

AUTOR/A: Villena Carrión, Julián

Tutor/a: Martínez Navarrete, Nuria

Cotutor/a: Camacho Vidal, M^a Mar

Director/a Experimental: BARRIAL LUJAN, ABEL ISAIAS

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

PERFIL NUTRICIONAL DE LA VAINA DEL HABA (*Vicia faba*) Y PROPIEDADES TECNOFUNCIONALES DE SU HARINA

Autor: Julián Villena Carrión

Tutora: María del Mar Camacho Vidal

Cotutora: Nuria Martínez Navarrete

Director experimental: Abel Isaías Barrial Lujan

Valencia, 6 de septiembre de 2023

Curso Académico: 2022-2023

RESUMEN

La industria alimentaria, en general, y la dedicada al procesado de vegetales, en particular, es una de las que mayor volumen de subproductos genera cada año. Algunos de estos subproductos son de alto valor nutritivo y potencialmente funcional y, sin embargo, su uso más extendido es para la alimentación animal, lo que supone, además de un bajo valor añadido, un infra aprovechamiento. En concreto, el haba (*Vicia faba*) es un cultivo bastante extendido que genera un alto volumen de subproducto (vainas) tras su procesado para conseguir la semilla que se destina al consumo humano. Éste se estima en alrededor del 70% del haba procesada, lo que representa problemas económicos y medioambientales, además del ya comentado desaprovechamiento de su gran valor biológico, por ser una excelente fuente de nutrientes y otros compuestos bioactivos.

En el presente trabajo, se ha caracterizado, desde el punto de vista nutritivo, la vaina del haba para obtener, tras su liofilización, una harina que pueda ofrecerse como ingrediente alimentario en polvo de alta calidad, manejable y estable. En este sentido, se ha analizado su contenido en agua, proteínas, azúcares, grasas, cenizas y fibra. Además, desde el punto de vista tecnofuncional, se ha estudiado la capacidad de la harina para mantenerse como un polvo suelto y para mezclarse con el agua, en función de su tamaño de partícula (<200 y <45 μm). Para ello se caracterizó la distribución del tamaño partícula y se evaluó el ángulo de reposo, la densidad y la porosidad, los índices de Hausner y Carr, la higroscopicidad, la capacidad de rehidratación y la capacidad de retención de agua. Los resultados obtenidos permiten afirmar que la vaina del haba en polvo presenta una composición interesante para aumentar el valor nutritivo de otros alimentos a los que pueda añadirse, gracias a los niveles de proteína y fibra que presenta. Por su parte, este polvo muestra una fluidez adecuada, sin diferencias significativas entre los dos tamaños de partícula estudiados, aunque, debido a la su menor higroscopicidad, sería más recomendable el de mayor tamaño (<200 μm).

Palabras clave: valorización de la vaina de haba; composición nutricional; ingrediente en polvo; fluidez; rehidratación.

NUTRITIONAL PROFILE OF THE BEAN SHELL (*Vicia faba*) AND THE TECHNNOFUNCTIONAL PROPERTIES OF BEAN FLOUR

ABSTRACT

The food industry, in general, and the vegetable processing industry, in particular, is one of the industries that generates the greatest volume of by-products each year. Some of these by-products are of high nutritional and potentially functional value, but their most widespread use is for animal feed, which, in addition to low added value, means that they are under-utilised. Specifically, the broad bean (*Vicia faba*) is a fairly widespread crop that generates a high volume of by-product (pods) after processing to obtain the seed for human consumption. This is estimated at around 70% of the processed fava bean, which represents economic and environmental problems, in addition to the aforementioned waste of its great biological value, as it is an excellent source of nutrients and other bioactive compounds.

In this work, the bean pod has been characterised from a nutritional point of view in order to obtain, after freeze-drying, a flour that can be offered as a high-quality, manageable and stable powdered food ingredient. In this respect, the content of water, proteins, sugars, fats, ash and fibre has been analysed. Furthermore, from a techno-functional point of view, the ability of the flour to remain as a loose powder and to mix with water has been studied, depending on its particle size (<200 and <45 μm). For this purpose, the particle size distribution was characterised and the angle of repose, density and porosity, Hausner and Carr indices, hygroscopicity, rehydration capacity and water retention capacity were evaluated. The results obtained show that fava bean pod powder has an interesting composition for increasing the nutritional value of other foods to which it can be added, thanks to the levels of protein and fibre it contains. On the other hand, this powder shows an adequate fluidity, with no significant differences between the two particle sizes studied, although, due to its lower hygroscopicity, the larger size (<200 μm) would be more recommendable.

Keywords: bean pod valorisation; nutritional composition; powdered ingredient; flowability; rehydration.

PERFIL NUTRICIONAL DE LA BAINA DE LA FAVA (Vicia faba) I PROPIETATS TECNOFUNCIONALES DE LA SEUA FARINA

RESUM

La indústria alimentària, en general, i la dedicada al processament de vegetals, en particular, és una de les quals major volum de subproductes genera cada any. Alguns d'aquests subproductes són d'alt valor nutritiu i potencialment funcional i, no obstant això, el seu ús més estès és per a l'alimentació animal, la qual cosa suposa, a més d'un baix valor afegit, un infra aprofitament. En concret, la fava (Vicia faba) és un cultiu bastant estès que genera un alt volum de subproducte (baines) després del seu processament per a aconseguir la llavor que es destina al consum humà. Aquest s'estima en al voltant del 70% de la fava processada, la qual cosa representa problemes econòmics i mediambientals, a més del ja comentat desaproveïment del seu gran valor biològic, per ser una excel·lent font de nutrients i altres compostos *bioactius.

En el present treball, s'ha caracteritzat, des del punt de vista nutritiu, la baina de la fava per a obtenir, després de la seua liofilització, una farina que pugui oferir-se com a ingredient alimentari en pols d'alta qualitat, manejable i estable. En aquest sentit, s'ha analitzat el seu contingut en aigua, proteïnes, sucres, greixos, cendres i fibra. A més, des del punt de vista tecnofuncional, s'ha estudiat la capacitat de la farina per a mantindre's com una pols solta i per a mesclar-se amb l'aigua, en funció de la seua grandària de partícula (<200 i <45 µm). Per a això es va caracteritzar la distribució de la grandària partícula i es va avaluar l'angle de repòs, la densitat i la porositat, els índexs d'Hausner i Carr, la higroscopicitat, la capacitat de rehidratació i la capacitat de retenció d'aigua. Els resultats obtinguts permeten afirmar que la baina de la fava en pols presenta una composició interessant per a augmentar el valor nutritiu d'altres aliments als quals pugui afegir-se, gràcies als nivells de proteïna i fibra que presenta. Per part seua, aquesta pols mostra una fluïdesa adequada, sense diferències significatives entre les dues grandàries de partícula estudiats, encara que, a causa de la seua menor higroscopicitat, seria més recomanable el de major grandària (<200 µm).

Paraules clau: valorització de la baina de fava; composició nutritiva; ingredient en pols; fluïdesa; rehidratació.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	1
2. MATERIAL Y MÉTODOS	3
2.1. Obtención de la vaina del haba en polvo	3
2.2. Análisis proximal	3
2.3. Distribución del tamaño de partícula	4
2.4. Propiedades relacionadas con el comportamiento al flujo en aire	4
2.5. Propiedades relacionadas con la interacción del polvo con el agua	6
2.6. Análisis estadístico	6
3. RESULTADOS	6
4. CONCLUSIONES	11
5. BIBLIOGRAFÍA	12
6. ANEXOS	16

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del tamaño de partícula para la muestra con mayor tamaño de partícula (H200), en relación al porcentaje de muestra retenida en cada uno de los tamices (frecuencia relativa, %)	8
Figura 2. Distribución del tamaño de partícula para la muestra con menor tamaño de partícula (H45), en relación al porcentaje de muestra retenida en cada uno de los tamices (frecuencia relativa, %)	8

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad de los componentes mayoritarios a 20°C	5
Tabla 2. Análisis proximal de la vaina del haba liofilizada (g componente / 100 g muestra)	7
Tabla 3. Valores medios de tamaño medio de partícula (TMP), moda y mediana, expresados en μm	9
Tabla 4. Valores medios de ángulo de reposo (α), índice de Hausner (IH), índice de Carr (IC), densidad real (ρ), densidad aparente del polvo compactado y vertido (ρ_c ; ρ_v), porosidad del polvo compactado y vertido (ϵ_c ; ϵ_v) de los diferentes tamaños de partícula	10
Tabla 5. Valores medios de capacidad de retención de agua e higroscopicidad (g agua ganados / 100 g SS de muestra)	11

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Frecuencia relativa	4
Ecuación 2. Tamaño medio de partícula.....	4
Ecuación 3. Ángulo de reposo	4
Ecuación 4. Densidad real	5
Ecuación 5. Porosidad del polvo vertido	5
Ecuación 6. Porosidad del polvo compactado.....	5
Ecuación 7. Índice de Hausner	5
Ecuación 8. Índice de Carr.....	5
Ecuación 9. Capacidad de retención de agua.....	6

1. INTRODUCCIÓN

Las leguminosas juegan un papel destacado dentro de la agricultura europea y dentro de la española, ya que son una fuente importante de proteínas de origen vegetal, tanto para la alimentación humana como animal. Además, su cultivo tiene un efecto beneficioso para el medio ambiente, porque contribuyen a la reducción del uso de fertilizantes nitrogenados (Rodiño et al., 2010; Mateos-Aparicio et al. 2008). En relación a su composición, destaca el contenido medio de proteínas que se encuentra entre el 17% y 40% y el contenido de hidratos de carbono que supone entre el 9% y 27%. Las leguminosas se pueden adquirir a un precio asequible y más barato que otros productos ricos en proteínas como la carne. Sin embargo, en éstas también están presentes componentes antinutricionales como son los inhibidores de tripsina, ácido fítico y taninos, que pueden limitar el aprovechamiento de las proteínas por parte de nuestro organismo (Blanco, 2017).

En concreto, el haba (*Vicia faba*) es una proteaginososa pertenece a la familia de las fabáceas que se consume sin la vaina. Según FAO, en las últimas campañas (de 2015 hasta 2020), se ha obtenido una producción media mundial superior a 5 Mt, siendo la UE el segundo productor mundial de habas por detrás de China. Debido a este aumento de la producción, se han incrementado ampliamente los desechos generados, dando lugar a una gran cantidad de residuos que provocan daños al medio ambiente que rodea a las industrias alimentarias que tratan estos alimentos. Entre todos los productos alimentarios más básicos, son las legumbres, frutas y hortalizas las que más desechos generan (Lasarte, 2021; Tassoni et al., 2020).

Estos subproductos pueden ser de alto valor nutritivo, pero, en la actualidad, sus usos están centrados en la alimentación animal. Concretamente el haba es un cultivo que genera una gran cantidad de subproductos, la vaina, durante su procesado para obtener la semilla destinada al consumo humano. En torno al 70% de toda la producción de haba corresponde a los subproductos de la misma (Abu-Reidah et al., 2017).

El objetivo del presente trabajo está directamente relacionado con algunos de los ODS, que describen las Naciones Unidas en la Agenda 2030. Principalmente con el ODS12: Producción y consumo responsables, ya que se estudia el aprovechamiento de los subproductos generados en la industria agroalimentaria. Además, los subproductos generados pueden provocar efectos negativos en el medioambiente, encontrarles una segunda vida, pueden paliar los daños provocados al medio (ODS13: Acción por el clima). Por último, los productos resultantes son de un alto valor nutritivo que pueden ayudar a complementar una dieta sana y equilibrada, aportando minerales, fibra o proteínas; ayudando así, a mejorar la salud de quienes los consumen (ODS3: Salud y bienestar).

La vaina del haba es de gran interés debido a su composición nutricional. Es una fuente importante de proteínas y fibra y tiene un contenido de grasas bajos (Mateos-Aparicio et al., 2008). Por su contenido en fibra, su ingesta podría facilitar la movilidad intestinal, ayudar a controlar el azúcar en sangre, reducir el

colesterol, etc... Por otra parte, también presenta un contenido destacable de minerales, como calcio, fósforo, hierro y magnesio, y de compuestos bioactivos como son la niacina, la tiamina y las vitaminas A, C y E (Espinosa, 2017). Teniendo todo esto en cuenta, este subproducto puede ser de especial interés por el valor añadido que puede aportar para obtener, por ejemplo, alimentos potencialmente funcionales, los cuales aportan beneficios a la salud si se añaden a la dieta de las personas. Sin embargo, por el alto contenido en agua que tienen estos subproductos, son inestables en lo que se refiere a sus propiedades físicas, químicas, valor nutritivo, etc. Una forma de alargar su vida útil es por secado. Es por esto que, en este trabajo, se pretende ofrecer este subproducto deshidratado como ingrediente alimentario de alta calidad nutricional, saludable, pero también manejable y estable. La liofilización es un método de secado que se suele utilizar para obtener productos de alta calidad, especialmente cuando se procesan materias primas con compuestos termolábiles y sensibles a la oxidación como es el caso de los de origen vegetal. Es un proceso que se inicia con una congelación previa del alimento y se somete a vacío para poder sublimar el agua congelada, que se elimina en forma de vapor sin pasar por el estado líquido. A esta fase se le llama secado primario y, para que ocurra de una forma eficiente, necesitamos disminuir la presión y temperatura de la muestra por debajo del punto triple, que es el momento en el que coexisten los tres estados: sólido, líquido y gaseoso. Posteriormente, se produce un secado secundario para poder eliminar el agua que, por estar fuertemente ligada al sustrato sólido, no se ha llegado a congelar. Mediante esta técnica de secado, se puede obtener un producto muy estable ya que el contenido en agua es muy bajo, permite una fácil rehidratación y mantiene el valor nutricional de los diferentes componentes bioactivos.

El hecho de proponer un producto deshidratado y en polvo a partir de la vaina del haba reside en las ventajas de estabilidad, manejo y logística que conlleva este formato. Para asegurar el éxito de la harina obtenida de la vaina del haba, parece oportuno conocer algunas propiedades de interés desde el punto de vista tecnológico, entre ellas su facilidad para mantenerse como un polvo suelto y sin aglomerarse, permitiendo un manejo fácil del mismo o su capacidad para mezclarse con el agua. Todas estas propiedades pueden verse afectadas por el tamaño de las partículas del polvo por lo que, en este estudio, se ha querido incluir esta variable.

En el presente trabajo, se pretende caracterizar, desde el punto de vista nutritivo, la vaina del haba para obtener, tras su liofilización, una harina que pueda ofrecerse como ingrediente alimentario en polvo de alta calidad, manejable y estable. En este sentido, se analizará el contenido en hidratos de carbono, proteínas, grasas, cenizas y fibra, además de algunas propiedades físicas como la distribución del tamaño de partícula, el ángulo de reposo (α), la densidad aparente (ρ_a), la densidad real (ρ), la porosidad (ε) y los índices de Hausner (IH) y de Carr (IC), propiedades relacionadas con el flujo en aire, así como la higroscopicidad y capacidad de retención de agua (CRA), como propiedades relacionadas con la interacción del polvo con el agua. Todo ello se estudiará en el polvo obtenido con dos tamaños medios de partícula diferente.

2. MATERIAL Y MÉTODOS

Para este trabajo, como materia prima, se partió de la vaina de haba (*Vicia fava*), de variedad criolla, procedente de un comercio del Mercado de Algirós, Valencia. Las muestras se seleccionaron en función de su grado de madurez y ausencia de daños mecánicos y se guardaron en refrigeración antes de procesarlas.

2.1. Obtención de la vaina del haba en polvo

Las vainas se separaron de forma manual de la semilla y se limpiaron antes de ser escaldadas (95°C, 60 segundos) en tandas de 350 g aproximadamente. Las vainas escaldadas se trituraron en una emulsionadora Eurofred (España). La pasta obtenida se repartió en bandejas de aluminio de 25 centímetros de diámetro, con un espesor de 0,5 cm y se congeló, al menos durante 48 horas, en un arcón congelador (Liebherr LGT 2325, Alemania) a -45 °C. Tras este proceso de congelado, las muestras se llevaron a un liofilizador Telstar Lyoquest-55 (España) a -50 °C en el condensador, una presión de 0,05 mbar y con las bandejas calefactadas a 50 °C, durante un tiempo de 7 horas. El liofilizado obtenido se trituró en un robot de cocina (Thermomix TM 21, Vorwerk, España) durante 20 segundos, en tandas de 40 g de producto, y se tamizó en una tamizadora (AMP0.40, CISA, España), durante 5 minutos, a una amplitud de 2,5 mm, para obtener un tamaño de partícula menor de 200 µm (H200). Para ello, se utilizó un tamiz de 200 µm de luz de malla y su fondo (CISA, España). Las partículas que no lograron pasar por el tamiz de 200 µm, se volvieron a pasar por el mismo tamiz, tras sufrir un nuevo triturado mediante un molinillo (Taurus, España) durante 20 segundos, en tandas de 20 g. El mismo proceso se realizó para obtener un polvo de un tamaño igual o menor de 45 µm (H45), pero con un tamiz de 45 µm de luz de malla (CISA, España). El polvo obtenido se pesó y se guardó en refrigeración hasta su uso, para las diferentes pruebas.

2.2. Análisis proximal

Se determinó el contenido de proteínas, grasas, azúcares, cenizas y fibras de la vaina del haba liofilizada. El contenido en proteínas se determinó mediante el método Kjeldhal 955.04/90 (AOAC, 1990). Para las grasas, el método utilizado fue la extracción directa Soxhlet 920.39c (AOAC, 1990). El análisis de los azúcares totales se realizó a través del método químico de Bertrand 934.06 (AOAC, 2000). En el caso de la determinación de cenizas se empleó el método gravimétrico 942.05/90 (AOAC, 1990). Por último, para la determinación de fibra, se realizó por diferencia, teniendo en cuenta la humedad de la muestra (valoración coulométrica Karl Fischer, Compact coulometric titrator C10S, Mettler Toledo, USA) y los anteriores componentes mayoritarios.

2.3. Distribución del tamaño de partícula

Para el análisis de la distribución del tamaño de partícula de H200 y H45, se pesaron 40 ó 20 g de muestra, respectivamente. Para H200, se emplearon los tamices de 800, 500, 300, 200, 150, 100, 63, 45, 32, 25 μm de luz de malla y el fondo (CISA), y se tamizó durante 5 minutos con una potencia de 50 Hz y una amplitud de 2,5 mm (tamizadora AMP0.40 CISA, España). Los tamices se pesaron sin muestra previamente y, tras tamizar las muestras, se pesaron los diferentes tamices con las muestras en polvo retenidas. Para las muestras H45 se emplearon diferentes tamices, en este caso fueron los de 100, 90, 63, 45, 32 y 25 μm de luz de malla. Con los pesos obtenidos, se calculó la proporción de cada muestra que quedó retenida en cada uno de los tamices (frecuencia relativa) y un tamaño medio de partícula. Para ello se emplearon las ecuaciones (1) y (2).

$$\text{Frecuencia relativa (\%)} = \frac{m_t}{m} * 100 \quad (1)$$

$$\text{Tamaño medio de partícula} = \frac{\sum t(DM_t * m_t)}{m} \quad (2)$$

Siendo:

m_t : peso de polvo que se ha recogido en cada tamiz (g).

m : suma de todos los pesos de muestra en cada tamiz (g).

DM_t : media del tamaño de luz de malla del tamiz donde queda la muestra y el tamiz anterior (μm).

2.4. Propiedades relacionadas con el comportamiento al flujo en aire

El comportamiento del polvo al flujo en aire se evaluó mediante la determinación del ángulo de reposo (α), la densidad aparente (ρ_a), la densidad real (ρ_r), la porosidad (ε) y los índices del Hausner (IH) y de Carr (IC).

El ángulo de reposo está relacionado con la capacidad del polvo para poder fluir. Tanto la humedad como el tamaño medio de partícula son factores que influyen en esta propiedad física de las muestras granuladas. Para determinar este parámetro, se mide el ángulo formado por la pendiente de la montaña creada por la muestra en polvo, cuando se deja caer sobre una superficie horizontal, y la propia superficie (ecuación 3) (Uscanga et al., 2020).

$$\alpha = \arctan\left(2 * \frac{h}{d}\right) \quad (3)$$

Siendo h la altura de la montaña que se ha formado (cm) y d su diámetro promedio (cm).

Para el cálculo de la densidad real (ecuación 4) se tuvo en cuenta la composición obtenida, tras realizar el análisis proximal de los diferentes componentes y las densidades de los mismos, representadas en la Tabla 1. (Choi y Okos, 1986).

Tabla 1. Densidad de los componentes mayoritarios a 20°C

Componente	ρ (g/cm³)*
Agua	0,9976
Hidratos de Carbono	1,4246
Proteínas	1,2894
Lípidos	0,9164
Cenizas	1,7434
Fibra	1,4246

*Choi y Okos, 1986.

$$\rho = 1/\Sigma \left(\frac{Xi}{\rho i} \right) \quad (4)$$

Donde X_i y ρ_i , son las fracciones másica y la densidad, respectivamente, de cada componente que se analiza.

La porosidad del polvo vertido (ϵ_v) y del compactado (ϵ_c) y los índices de Hausner (H) y Carr (IC) se determinaron según Uscanga et al. (2020) y según las ecuaciones 5-8.

$$\epsilon_v = \frac{\rho - \rho_v}{\rho} * 100 \quad (5)$$

$$\epsilon_c = \frac{\rho - \rho_c}{\rho} * 100 \quad (6)$$

$$IH = \rho_c / \rho_v \quad (7)$$

$$IC = \frac{\rho_c - \rho_v}{\rho_c} * 100 \quad (8)$$

Donde ρ es la densidad real de la muestra (g/cm³); ρ_c , la densidad aparente del polvo compactado (g/cm³) y ρ_v , la densidad aparente del polvo vertido (g/cm³).

2.5. Propiedades relacionadas con la interacción del polvo con el agua

Las propiedades seleccionadas para estudiar la interacción del producto en polvo con el agua fueron la higroscopicidad y la capacidad de retención de agua.

La higroscopicidad determina el agua que ha ganado la muestras tras estar expuesta a una humedad relativa determinada. Para su determinación, se pesó 1 g de muestra, que se colocó durante 1,5 h en un recipiente hermético con una disolución saturada de NaCl ($a_w = 0,75$), creando una humedad relativa al 75% a 20°C. La higroscopicidad se expresó como los g de agua ganada / 100 g de producto (en base seca).

Para determinar la capacidad de retención de agua (CRA), se mezclaron, con un vortex, 0,5 g de muestra con 4,5 mL de agua destilada. Esta mezcla se dejó reposar durante 18 h a temperatura ambiente. Pasado este tiempo, se centrifugó a 4164 rpm y 20°C durante 25 minutos (Gyrozen 1236r, Korea). Con la ayuda de una pipeta Pasteur se eliminó el sobrenadante y se pesó 1 g de precipitado, que se introdujo en una estufa hasta peso constante (R). Mediante las diferencias de peso, se conoció la cantidad de agua (W) y se calculó CRA, expresada como los g de agua retenida / g de residuo seco (ecuación 9).

$$CRA = \frac{W}{R} \quad (9)$$

2.6. Análisis estadístico

Se analizó la influencia del tamaño de partícula en los parámetros estudiados a partir de las diferencias significativas entre las dos muestras de vaina de haba en polvo, mediante un análisis de la varianza (ANOVA simple), con un nivel de confianza del 95% ($p\text{-valor} < 0,05$). Para esto se empleó el programa Statgraphics (versión Centurio XVIII, StatPoint Technologies, Inc).

3. RESULTADOS

La Tabla 2 muestra la composición proximal de la vaina del haba presentando valores de hidratos de carbono y fibra altos, así como un contenido en proteínas considerable. Estos resultados pueden compararse con los que obtuvo Aparicio et al. (2008), que también analizó la composición de la vaina de haba liofilizada. El contenido en proteínas es muy alto, aunque es menor en la vaina que en las semillas. Por otro lado, el contenido en fibra es mayor en la vaina que en la semilla del haba, según Fernandes y Martins (1998). Así, por su alto contenido en proteína y en fibra, y por los efectos beneficiosos de esta última, la vaina del haba puede tener usos interesantes para aumentar el valor nutritivo de otros productos y puede ser susceptible de ser utilizado, en otro tipo de productos,

como harinas para la elaboración de panes o repostería o con otro tipo de finalidades como la que estudió Palacios (2021) y Maldonado (2021), donde se valora la obtención de películas biodegradables a través de vainas de haba para recubrir fruta y verdura. Además, el contenido en grasa es muy bajo.

Tabla 2. Análisis proximal de la vaina del haba liofilizada (g componente / 100 g muestra)

Componente	Valor
Hidratos de Carbono	38,04
Proteínas	16,22
Grasas	0,86
Cenizas	6,13
Fibra	35,41
Agua	3,3

El tamaño medio de partícula es una de las propiedades más importantes para un polvo granulado junto con su densidad, forma y silueta. Aquellos productos cuyo tamaño medio de partícula es menor de 1 mm, se puede considerar como polvo (Davies, 1984; Barbosa-Cánovas et al., 2005). Para determinar el tamaño medio de partícula de ambas muestras, se obtuvo su distribución (Fig.1 y Fig.2), y a partir de esta el tamaño medio de partícula, la moda y la mediana (Tabla 3). Como se observa en ambas figuras, hubo muestra que quedó retenida en los tamices con tamaño mayor que el objetivo en cada caso, 200 y 45 μm . Esto fue así porque, aunque lo que no pasaba estos tamices se volvía a triturar, finalmente no fue posible disminuir el tamaño de algunas de las partículas y se decidió incorporarlo para no modificar la composición del polvo obtenido. Para calcular el tamaño medio de partícula, se consideró a éste como el valor medio entre la luz de malla del tamiz donde las muestras quedaron retenidas y el tamaño del tamiz superior a este. Como se observa en ambas figuras los tamices donde quedó mayor cantidad de muestra retenida fue, en el caso de H200, en los de luz de malla menores de 200 μm , concretamente en los de 150, 100 y 65 μm . Para H45, los tamices con más cantidad de muestra retenida fueron los de 45 y 32 μm .

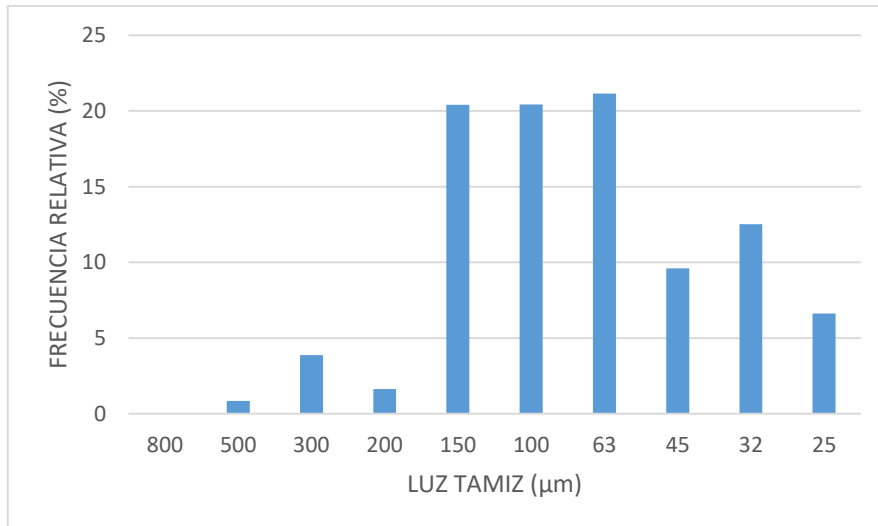


Figura 1. Distribución del tamaño de partícula para la muestra con mayor tamaño de partícula (H200), en relación al porcentaje de muestra retenida en cada uno de los tamices (frecuencia relativa, %)

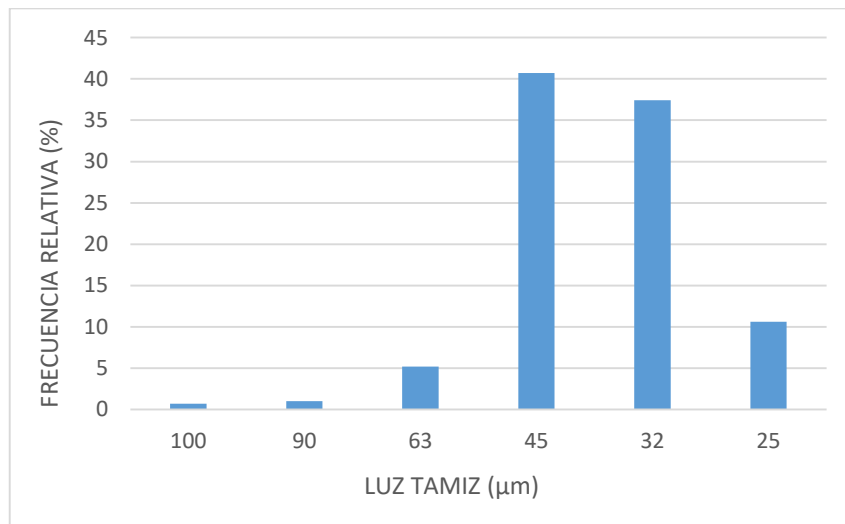


Figura 2. Distribución del tamaño de partícula para la muestra con menor tamaño de partícula (H45), en relación al porcentaje de muestra retenida en cada uno de los tamices (frecuencia relativa, %)

Como se observa en la Tabla 3, los tamaños medios de partícula conseguidos fueron 94 y 43,5 μm . Para H200, tamaño medio finalmente conseguido fue inferior al previsto. Esto refleja la dificultad de conseguir determinados tamaños, al menos con los equipos disponibles en este caso, cuando el objetivo es disponer de toda la muestra y no sólo de la parte que consiga alcanzar un determinado tamaño. Aun así, se han conseguido dos tamaños bastante diferentes, lo que se refleja también en la mediana. Ésta nos indica que, en la muestra H200, el 50 % de las partículas de mayor tamaño tienen entre 800 y 135 μm , mientras que para la muestra H45, el tamaño de esta fracción está entre 100 y 42 μm .

Tabla 3. Valores medios de tamaño medio de partícula (TMP), moda y mediana, expresados en μm

Propiedad / Muestra	200 μm	45 μm
TMP	94\pm11^(b)	43,5\pm1,2^(a)
Moda	63^(b)	45^(a)
Mediana	135\pm6^(b)	42,22\pm0,12^(a)

Resultados expresados como $\bar{x}\pm\sigma$. Las letras en superíndices (a y b) indican diferencias significativas entre las muestras para cada propiedad. ($p<0,05$).

La Tabla 4 presenta las propiedades físicas estudiadas para el polvo de vaina del haba con los dos tamaños de partícula analizados, H200 y H45. Estas propiedades nos ayudan a conocer al producto ya que, según las características de éste, su comportamiento durante almacenamiento, manipulación y procesamiento serán diferentes (Almora et al. 2022).

Al comparar los parámetros analizados para los dos tamaños de partícula estudiados, no se vieron diferencias significativas ($p>0,05$) para α ni para IC e IH, pero sí para las densidades compactada y vertida, y, por tanto, para ambas porosidades.

El ángulo de reposo está relacionado con la fricción que hay entre las partículas, así como, con la humedad (Oliveros et al., 1985; Solaque Guzmán, 2008). Podemos calificar un polvo granulado según su ángulo de reposo. Barbosa et al. (2005), considera que un material fluye bien si $\alpha < 35^\circ$, es bastante cohesivo si α se encuentra entre 35 y 45° , cohesivo de 45 a 55° y, por último, se considera muy cohesivo si $\alpha > 55^\circ$. Alavi y Caussat (2005) clasifican los polvos granulados como aquellos con una fluidez alta si $25^\circ < \alpha < 30^\circ$, fluidez media: $30^\circ < \alpha < 38^\circ$ y fluidez baja si: $38^\circ < \alpha < 45^\circ$. Por otro lado, la Real Farmacopea Española (2015), hace una clasificación diferente y en función de la flotabilidad del polvo. En este caso, si α está entre 31 y 35° , el polvo tiene una buena flotabilidad, regular si $36^\circ < \alpha < 40^\circ$ y aceptable si $41^\circ < \alpha < 45^\circ$. Ambas muestras se pueden definir como bastantes cohesivas y con una fluidez media-baja o regular, lo que puede ser debido al contenido en azúcares de la muestra.

Por otro lado, los índices de Carr y Hausner se basan en la capacidad del polvo para compactarse y en la fricción que se da entre las partículas, respectivamente. Ambos, se establecen por el volumen antes de asentarse y después del asentamiento. En este caso, también se encuentran diferentes clasificaciones. Según Fitzpatrick (2013) y Acosta (2020), aquellos polvos granulados que tienen un $IH < 1,25$; presentan un flujo intermedio/alto, y con un IC de entre 5-15% como excelente. Según estas clasificaciones, se puede decir que el polvo de vaina de haba, se clasifica como con un flujo intermedio/alto o excelente.

Al igual que IC e IH, la densidad aparente del polvo vertido y del compactado pueden mostrar una idea general de la fluidez del producto. Para ambas densidades, el valor es mayor cuanto mayor es el tamaño de partícula ($p<0,05$), además de que los valores de densidad compactada son menores que los de densidad aparente del vertido ($p<0,05$). Estos resultados presentan la misma

relación que los planteados por Almora et al. (2022) donde estudia la relación de la granulometría con la densidad de los polvos de otros vegetales como la Moringa. En el caso de ambas porosidades, fueron mayores las que correspondían con la muestra H45, es decir la de un tamaño de partícula menor. Esto podría deberse a la diferente forma de las partículas de polvo generadas tras su tratamiento (Peñalver, 2018), pero también a la diferente distribución de tamaños de partícula. En este caso, el polvo H200 presenta un 11,8 % de partículas con un tamaño menor de 25 μm (Fig. 1), que podrían ocupar los huecos que quedan entre las partículas más grandes disminuyendo así la porosidad. En cambio, en el polvo H45 este porcentaje es tan sólo de un 4,4 % (Fig. 2), por lo que la porosidad puede verse aumentada. Los resultados obtenidos se acercan a los de Agudelo et al., (2017), en el que se analizó el polvo de pomelo.

Tabla 4. Valores medios de ángulo de reposo (α), índice de Hausner (IH), índice de Carr (IC), densidad real (ρ), densidad aparente del polvo compactado y vertido (ρ_c ; ρ_v), porosidad del polvo compactado y vertido (ϵ_c ; ϵ_v) de los diferentes tamaños de partícula

Propiedad / Muestra	H200	H45
α ($^\circ$)	38,4\pm0,3^(a)	37,5\pm1,4^(a)
IH	1,09\pm0,03^(a)	1,119\pm0,006^(a)
IC (%)	9\pm2^(a)	10,7\pm0,5^(a)
ρ (g/cm^3)	1,389	1,389
ρ_c (g/cm^3)	0,389\pm0,007^(b)	0,335\pm0,009^(a)
ρ_v (g/cm^3)	0,350\pm0,010^(b)	0,299\pm0,008^(a)
ϵ_c (%)	72,0\pm0,5^(a)	75,9\pm0,7^(b)
ϵ_v (%)	74,8\pm0,7^(a)	78,5\pm0,6^(b)

Resultados expresados como $\bar{x} \pm \sigma$. Las letras en superíndices (a y b) indican diferencias significativas entre las muestras para cada propiedad. ($p < 0,05$).

En la tabla 5 quedan reflejados los valores de las propiedades relacionadas con la interacción del polvo con el agua. La higroscopicidad se basa en la capacidad que tiene un material de absorber la humedad del ambiente, cuando éste presenta una humedad relativa elevada (Bhusari et al., 2014). La capacidad de retención de agua determina el agua retenida tras sufrir una fuerza externa (Martínez-Las Heras et al., 2017). Para ambas propiedades se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$,) entre las dos harinas estudiadas. En el caso de CRA fue la muestra H200 la que presentó unos valores mayores, al contrario que para la higroscopicidad, donde H45 alcanzó una mayor cantidad de agua absorbida. Estos resultados se asemejan a las conclusiones que obtuvo Serna-Cock et al. (2014), donde el aumento del diámetro de las partículas del polvo, provocaban un aumento de la capacidad de retención de agua.

Otros estudios, que emplearon otros vegetales (Noguerol et al., 2021 a y b) obtuvieron valores de higroscopicidad entre 14 y 35 g de agua por 100 g de

muestra seca; y para la capacidad de retención de agua los resultados obtenidos en dicho estudio, fueron desde 5 a 23 g de agua por g de muestra seca. Para este estudio mencionado anteriormente se analizó la composición de las muestras. Noguerol et al., 2021 a y b obtuvo una composición similar en grasa e hidratos, pero una mayor cantidad de fibra (de forma considerable) y menor cantidad de proteínas. Esta diferencia de composición, especialmente en la fibra, puede ser una de las razones de estas diferencias de valores obtenidos de capacidad de retención de agua e higroscopicidad. Según Grigelmo-Miguel (1999), la presencia de fibra, en especial la fibra soluble, está relacionada con la capacidad de retención de agua. Además, al disminuir el tamaño de partícula, aumenta el área superficial, lo que puede favorecer la interacción con el agua (Almora et al., 2012).

Tabla 5. Valores medios de capacidad de retención de agua e higroscopicidad (g agua ganados / 100 g SS de muestra)

Propiedad / Muestra	200 μm	45 μm
CRA	6,3\pm0,2^(b)	5,6\pm0,2^(a)
Higroscopicidad	2,3\pm0,7^(a)	5,4\pm0,6^(b)

Resultados expresados como $\bar{x} \pm \sigma$. Las letras en superíndices (a y b) indican diferencias significativas entre las muestras para cada propiedad. ($p < 0,05$).

4. CONCLUSIONES

La vaina del haba liofilizada presentó unos resultados interesantes respecto a su análisis proximal. Tiene una proporción considerable de proteínas y fibra, por lo que su uso para aumentar el valor nutricional de otros alimentos ha de tenerse en cuenta. Por ejemplo, hoy en día se está incrementando tanto la oferta como la demanda de productos altos en proteína de origen vegetal. Por esto y por su alto contenido en fibra, con beneficios como prebiótico, para reducir los niveles de colesterol o sus efectos antiinflamatorios, entre otros, la vaina de haba liofilizada puede proponerse como un ingrediente natural adecuado para su uso en alimentación humana. Por su parte, el polvo de la vaina de haba liofilizada presenta una fluidez adecuada, aunque por su menor higroscopicidad sería recomendable el de mayor tamaño de los estudiados (<200 μm).

5. BIBLIOGRAFÍA

Abu-Reidah, I. M., Arráez-Román, D., Warad, I., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2017). UHPLC/MS 2 -based approach for the comprehensive metabolite profiling of bean (*Vicia faba* L.) by-products: A promising source of bioactive constituents. *Food Research International*, 93, 87-96.

Acosta, J.C. (2020). Estudio de las propiedades de flujo de sólidos pulverulentos y granulados empleados en la elaboración de formas farmacéuticas sólidas de administración oral. Trabajo final de grado. Tenerife. Universidad de La Laguna.

Alavi, S., & Caussat, B. (2005). Experimental study on fluidization of micronic powders. *Powder Tyyyyyyyyyy*, 157(1-3), 114-120.

AOAC. (1990). Official Method 955.04/90. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemist.

AOAC. (1990). Official Method 942.05/90. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemist.

AOAC. (1990). Official Method 920.39c. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemist.

AOAC. (2000). Official Method 934.06. Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemists. Association of Official Analytical Chemist.

Barbosa-Canovas, G., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). Food powders. Physical properties, processing, and functionality. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York.

Blanco, E. (2017). *Estudio de la tecnología de extrusión para la valorización de subproductos vegetales y nuevas aplicaciones en leguminosas como ingredientes de productos para alimentación humana*. Tesis Doctoral. Burgos: Departamento de Biotecnología y Ciencia de los Alimentos. Universidad de Burgos.

Bhusari, S., Muzaffar, K., & Kumar, P. (2014). Effect of carrier agents on physical and microstructural properties of spray dried tamarind pulp powder. *Powder Technology*, 266, 354-364.

Cediel Aparicio, I. (2008). *Aprovechamiento de subproductos de leguminosas para la obtención de productos funcionales. Comparación de metodologías para la caracterización de la fibra alimentaria*. Tesis Doctoral. Madrid: Departamento de Nutrición y Bromatología II: Bromatología. Universidad Complutense de Madrid.

Choi, Y., y Okos, MR. (1986). Efectos de la temperatura y la composición sobre las propiedades térmicas de los alimentos". En Le M. Maguer & P. Jelen (eds.), *Ingeniería de alimentos y aplicaciones de procesos*, vol. 1: Fenómenos de transporte, 93–101. Elsevier, Nueva York.

Costache, A. (2021). Propiedades tecnofuncionales del coproducto del zumo de naranja en polvo para uso como ingrediente en alimentación humana. Trabajo final de grado. Valencia: Universitat Politècnica de València. <https://riUNET.upv.es/handle/10251/173651/restricted_resource?bitstreamId=925579> [Consulta: 21 de junio 2023]

Davies, R. (1984). Particle size measurement: experimental techniques in *Handbook of Powder Science and Technology*, Fayen, M.E. and Otten L. (eds.). Van Nostrand Reinhold, New York.

Espinosa, M. (2017). *Caracterización de selecciones de habas tempranas de verdeo (Vicia faba L.var. major) del Campo de Elche*. Trabajo Final de Grado. Elche: Universidad Miguel Hernández.

Fernandez, J.M., y Martins, A., (1998). Chemical composition, organic matter digestibility and gas production of nine legume grains. *Animal Feed Science Technology*, 70: 49-57.

Fitzpatrick, J.J. (2013) Powder properties in food production systems. En *Handbook of Food Powders*, 285-308, Bhandari, B; Bansal, Nidil; Schmierda, P. (eds.). Wookhead, Ireland.

Grigelmo-Miguel, N., & Martín-Belloso, O. (1999). Characterization of dietary fiber from orange juice extraction. *Food Research International*, 31(5), 355-361.

Herle, I y Gudehus, G. (1999). "Determination the parametres of a hypoplastic constitutive model from properties of grain assemblies" en *Mechanics of Cohesive-Frictional Materials*, 4:461-486, 1999.

Maldonado Bravo, A.P. (2021). Valorización de la cascara de Vicia faba (haba) para la obtención de una lámina de plástico biodegradable para el uso en alimentos. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

MAPA, 2018. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Haba. Material vegetal.<https://www.mapa.gob.es/es/ministerio/servicios/informacion/haba_tc_m30-102365.pdf>

Martínez-Las Heras, R., Landines, E. F., Heredia, A., Castelló, M. L., & Andrés, A. (2017). Influence of drying process and particle size of persimmon fibre on its *physicochemical, antioxidant, hydration and emulsifying properties*. *Journal of Food Science and Technology*, 54(9), 2902-2912.

Noguerol, A. T., Igual, M., & Pagán-Moreno, M.J. (2021a). Nutritional, Physico-Chemical and Mechanical Characterization of Vegetable Fibers to Develop Fiber-Based Gel Foods. *Foods*, 10(5), 1017.

Noguerol, A. T., Igual, M., y Pagán, M.J. (2021b). Developing psyllium fibre gel-based foods: Physicochemical, nutritional, optical and mechanical properties. *Food Hydrocolloids*, 122, 107-108.

Paula Rodiño. A, De La Fuente. M, González A. M, De Ron A. M y Santalla M. (2011). "Diversidad de las leguminosas en Europa y en España" en *Fundamentos y aplicaciones agroambientales de las interacciones beneficiosas plantas-microorganismos*. Editores: Mejías M, Rivilla R, Soto MJ, Delgado MJ, González E, Mateos P, León M. Sociedad Española de Fijación de Nitrógeno, Granada.

Peñálver, B. (2018). *Influencia del contenido en agua del puré de naranja en las propiedades del polvo obtenido por liofilización*. Trabajo Fin de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. <<https://riunet.upv.es/handle/10251/110258>> [Consulta: 21 de julio 2023]

RFE (2015). Real Farmacopea Española, Ministerio de Sanidad, Servicios Sociales e Igualdad Website http://tienda.boe.es/Farmacopea_index.html

Serna-Cock, L., Torres-León, C., & Ayala-Aponte, A. (2014). Evaluación de polvos alimentarios obtenidos de cáscaras de Mango (*Mangifera indica*) como fuente de Ingredientes funcionales. *Información Tecnológica*, 26(2), 41-50.

Lasarte, A (2021). *Optimización del proceso de obtención de extractos proteicos en subproductos de leguminosas*. Trabajo Final de Grado. Departamento de Farmacia y Ciencias de los Alimentos. Universidad del País Vasco.

Oliveros-Tascón, CE., Roa-Mejía, G. (1985). "Coeficiente de fricción, ángulo de reposo y densidades aparentes en granos de café coffea Arabica variedad Caturra" en Repositorio Digital del Centro Nacional de Investigaciones de Café-Cenicafé, 36(1):22-38.

Palacios Pacheco, L.H. (2021). Obtención de películas plásticas biodegradables a partir de vainas de haba (*Vicia faba*) para el recubrimiento de frutas y verduras frescas. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba.

Solaque Guzmán, DP. (2008). *Comparación del ángulo de fricción cítrico con el ángulo de reposo. Análisis de la influencia de algunos factores de la determinación del ángulo de reposo*. Maestría en Ingeniería Civil. Grupo de Investigación en Geotecnia. Universidad de los Andes.

Tassoni A, Tedeschi T, Zurlini C, Cigognini IM, Petrusan J, Rodríguez Ó, et al. State-of-the-art production chains for peas, beans and chickpeas—valorization of AgroIndustrial residues and applications of derived extracts. *Molecules* 2020; 25(6): 1383.

Uscanga, M.A, Camacho, M., Salgado, M.A. Martínez-Navarrete, N. Influence of an Orange Product Composition on the Characteristics of the Obtained Freeze-dried Cake and Powder as Related to Their Consumption Pattern. *Food Bioprocess Technol* 12, 1368-1379 (2020).

Villena, J. (2022). *Caracterización del coproducto del zumo de naranja para su valorización como ingrediente alimentario*. Trabajo Final de Grado. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia. <
<https://riunet.upv.es/handle/10251/185601>> [Consulta: 21 de julio 2023]

6. ANEXOS

ANEXO I.

RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030

Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.				X
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.	X			
ODS 4. Educación de calidad.				X
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.				X
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.				X
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.	X			X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X

ODS 3. Salud y Bienestar. Se busca obtener unos productos con altos niveles nutritivos que puedan ayudar a complementar una dieta sana y equilibrada, gracias a su aporte en fibra, proteínas o minerales; mejorando la salud de las personas que lo consumen.

ODS 12. Producción y consumo responsable y ODS. 13 Acción por el clima. Se estudia cómo se pueden aprovechar estos subproductos generados en la industria agroalimentaria, los cuáles general problemas medioambientales; por lo que encontrarles otros usos puede paliar los daños provocados al medio.

