



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

FoodUPV
INSTITUTO DE INGENIERIA DE ALIMENTOS

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos
(FoodUPV)

Efecto del secado y de la presencia de goma Arábica en
los compuestos nutricionales, antioxidantes y antinutrientes
de la harina de vaina de haba (*Vicia faba* L.)

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Gestión de la Seguridad y Calidad
Alimentaria

AUTOR/A: Peña Sempere, Celia

Tutor/a: García Martínez, Eva María

Director/a Experimental: Barrial Luján, Abel Isaías

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

EFFECTO DEL SECADO Y DE LA PRESENCIA DE GOMA ARÁBIGA EN LOS COMPUESTOS NUTRICIONALES, ANTIOXIDANTES Y ANTINUTRIENTES DE LA HARINA DE VAINA DE HABA (*VICIA FABA L.*)

AUTOR/A: Peña Sempere, Celia

Tutor/a: García Martínez, Eva¹

Director/a Experimental: Barrial Luján, Abel Isaías¹

RESUMEN

El desperdicio alimentario de la industria alimentaria en general y del sector de frutas y hortalizas en particular, es un problema de gran impacto económico y medioambiental, que impulsa a las industrias alimentarias a buscar alternativas para revalorizar sus residuos y desarrollar nuevos productos con valor añadido y nutritivos. En el caso concreto del sector de las habas (*Vicia faba L.*), se estima que alrededor del 70 % del producto se desperdicia tras la obtención de las semillas destinadas a consumo humano. Este trabajo propone estudiar el efecto del secado (secado por aire caliente o liofilización) y la adición de goma arábica en las propiedades nutricionales y funcionales de un producto en polvo obtenido a partir de las vainas de habas. Concretamente, se estudió su perfil nutricional (proteína, grasa, hidratos de carbono, fibra, almidón y cenizas), compuestos bioactivos (fenoles totales, clorofilas y carotenoides totales), actividad antioxidante y posible contenido en antinutrientes (vicina, fitatos, inhibidores de tripsina, saponinas y fenoles condensados). Los resultados mostraron que la aplicación del secado por aire caliente y la liofilización en la vaina de haba ofrece una prometedora opción para obtener un producto en polvo de alta calidad nutricional y funcional que puede ser utilizado como ingrediente en diversas formulaciones alimentarias. El producto en polvo obtenido destacó por su contenido en carbohidratos (principalmente fibra), proteínas y su elevado contenido en compuestos bioactivos, que le proporcionan actividad antioxidante beneficiosa para la salud. En cuanto a los métodos de secado empleados para la obtención del producto en polvo, no se han observado grandes diferencias en los diferentes compuestos estudiados. Ambos métodos aumentaron el contenido en fenoles totales ($\approx 34\%$) y disminuyeron los carotenoides ($\approx 30\%$) respecto a la vaina fresca. Dado el elevado coste de la liofilización, el secado por aire caliente a 50°C durante 7 horas es una buena alternativa al polvo liofilizado. La adición de goma arábica mejoró el contenido en bioactivos y la actividad antioxidante. En cuanto a los antinutrientes la mayoría de los resultados obtenidos fueron del orden o menores a los de la semilla.

Palabras clave: Vaina de haba, subproducto, sostenibilidad, liofilización, secado por aire caliente, goma arábica, bioactivos, actividad antioxidante, antinutrientes.

¹ Grupo de Investigación e innovación alimentaria CUINA. Dpto. Tecnología de los alimentos. Universitat Politècnica de València.

EFFECT OF DRYING AND THE PRESENCE OF GUM ARABIC ON THE NUTRITIONAL, ANTIOXIDANT AND ANTI-NUTRIENT COMPOUNDS OF FAVA BEAN FLOUR (*VICIA FABIA* L.)

ABSTRACT

Food waste in the food industry in general, and in the fruit and vegetable sector in particular, is a problem of great economic and environmental impact, which drives food industries to seek alternatives to revalue their waste and develop new products with added value as well as nutritional value. In the specific case of the broad bean (*Vicia faba* L.) sector, it is estimated that around 70 % of the product is wasted after obtaining the seeds intended for human consumption. This work aims at studying the effect of drying (hot air drying or freeze-drying) and the addition of gum Arabic on the nutritional and functional properties of a powdered product obtained from broad bean pods. Specifically, its nutritional profile (protein, fat, carbohydrates, fibre, starch and ash), bioactive compounds (total phenols, total chlorophylls and total carotenoids), antioxidant activity and possible antinutrient content (vicin, phytates, trypsin inhibitors, saponins and condensed phenols) were studied. The results showed that the application of hot air drying and freeze-drying on fava bean pods offers a promising option to obtain a powdered product of high nutritional and functional quality that can be used as an ingredient in various food formulations. The powdered product obtained was notable for its carbohydrate content (mainly fibre), protein and high content of bioactive compounds, which provide antioxidant activity beneficial to health. With regard to the drying methods used to obtain the powdered product, no major differences were observed in the various compounds studied. Both methods increased the total phenol content ($\approx 34\%$) and decreased carotenoids ($\approx 30\%$) compared to the fresh pod. Given the high cost of freeze-drying, hot air drying at 50°C for 7 hours is a good alternative to freeze-drying powder. The addition of gum Arabic improved the bioactive content and antioxidant activity. Regarding anti-nutrients, most of the results obtained were in the order of or lower than those of the seed.

Keywords: Bean pod, by-product, sustainability, freeze-drying, hot air drying, gum Arabic, bioactives, antioxidant activity, anti-nutrients.

EFFECTE DE L'ASSECAT I DE LA PRESENCIA DE GOMA ARÀBIGA EN ELS COMPOSTOS NUTRICIONALS, ANTIOXIDANTS I ANTINUTRIENTS DE LA FARINA DE BAINA DE FAVA (*VICIA FABA L.*)

RESUM

El desaprofitament alimentari de la indústria alimentària en general i del sector de fruites i hortalisses en particular, és un problema de gran impacte econòmic i mediambiental, que impulsa les indústries alimentàries a buscar alternatives per a revaloritzar els seus residus i desenvolupar nous productes amb valor afegit i nutritius. En el cas concret del sector de les faves (*Vicia faba L.*), s'estima que al voltant del 70% del producte es malgasta després de l'obtenció de les llavors destinades a consum humà. Aquest treball proposa estudiar l'efecte de l'assecat (assecat per aire calent o liofilització) i l'addició de goma aràbiga en les propietats nutricionals i funcionals d'un producte en pols obtinguda a partir de les baines de faves. Concretament, es va estudiar el seu perfil nutricional (proteïna, greix, hidrats de carboni, fibra, midó i cendres), compostos bioactius (fenols totals, clorofil·les i carotenoides totals), activitat antioxidant i possible contingut en antinutrients (vicina, fitats, inhibidors de tripsina, saponines i fenols condensats). Els resultats van mostrar que l'aplicació de l'assecat per aire calent i la liofilització en la baina de fava ofereix una prometedora opció per a obtenir un producte en pols d'alta qualitat nutricional i funcional, que pot ser utilitzat com a ingredient en diverses formulacions alimentàries. El producte en pols obtinguda va destacar pel seu contingut en carbohidrats (principalment fibra), proteïnes i el seu elevat contingut en compostos bioactius, que li proporcionen activitat antioxidant beneficiosa per a la salut. Quant als mètodes d'assecat emprats per a l'obtenció del producte en pols, no s'han observat grans diferències en els diferents compostos estudiats. Tots dos mètodes van augmentar el contingut en fenols totals ($\approx 34\%$) i van disminuir els carotenoides ($\approx 30\%$) respecte a la baina fresca. Donat l'elevat cost de la liofilització, l'assecat per aire calent a 50 °C durant 7 hores és una bona alternativa a la pols liofilitzada. L'addició de goma aràbiga va millorar el contingut en bioactius i l'activitat antioxidant. Pel que fa als antinutrients la majoria dels resultats obtinguts van ser de l'orde o menors als de la llavor.

Paraules clau: Baina de fava, subproducte, sostenibilitat, liofilització, assecat per aire calent, goma aràbiga, bioactius, activitat antioxidant, antinutrients.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	5
2. MATERIALES Y MÉTODOS	7
2.1. Materia prima	7
2.2. Procesado y obtención del polvo de vaina de haba.	7
2.3. Determinaciones analíticas	8
2.3.1. Caracterización nutricional	8
2.3.2. Compuestos bioactivos	8
2.3.3. Actividad antioxidante	9
2.3.4. Compuestos antinutricionales	9
2.4. Análisis estadístico	10
3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
3.1. Caracterización nutricional	10
3.2. Compuestos bioactivos	12
3.3. Actividad antioxidante.....	13
3.4. Compuestos antinutrientes	15
4. CONCLUSIONES	19
5. BIBLIOGRAFÍA	20
6. ANEXO.....	23

1. INTRODUCCIÓN

Uno de los principales problemas en la actualidad es el desperdicio alimentario. Por distintas razones, los productos agrícolas y alimentarios son descartados a lo largo de la cadena alimentaria, pudiendo ser comestibles o adecuados para el consumo humano, pero a falta de posibles usos alternativos, son desechados como residuos (AESAN, 2024).

Este aspecto es de preocupación a nivel mundial, y es por esto que se requiere abordar el problema en todas las etapas de la cadena alimentaria, desde la industria hasta los hogares. Según las últimas estimaciones de la Unión Europea, el 30 % del desperdicio alimentario, ocurre en las etapas de producción y procesado de alimentos, en este sentido las industrias alimentarias están centradas en optimizar los procesos de producción y utilizar las fracciones desperdiciadas para revalorizarlas y desarrollar nuevos productos (Stenmark et al., 2016)

Según la AESAN (2024), el 40 - 50 % del desperdicio alimentario mundial corresponde al sector de tubérculos, frutas y hortalizas debido a su mal estado o a la elevada proporción no comestible que contienen, provocando no solo un problema económico, sino también medioambiental. En el caso concreto de algunas leguminosas como las habas (*Vicia faba*), se estima que alrededor del 70 % del producto se desperdicia en el procesado, tras obtener la parte comúnmente comestible (el grano). Las leguminosas son extensamente cultivadas y consumidas alrededor del mundo debido a su alto contenido en proteínas y otros nutrientes, como fibra. Sin embargo, debido al gran porcentaje de subproducto que se genera y al elevado coste de retirada de los mismos, es un sector con problemas económicos y medio ambientales (Abu-Reidah et al., 2017). Según la FAO, la producción mundial media de leguminosas en las campañas 2015 – 2016 y 2019 – 2020 fue de 20 Mt, de las cuales el 25 % correspondía al cultivo de las habas y siendo la UE el mayor productor por detrás de China (MAPA, 2021).

Las habas son leguminosas de gran interés nutricional debido a su elevado contenido en proteína que varía entre el 26 y el 33 %, siendo mayor a la cantidad que contienen los cereales (3 -7 %) y similar al de la carne (18 – 25 %) aunque con distinto perfil de aminoácidos y valor biológico. También contienen fibra dietética soluble (0,55 – 1,06 %) e insoluble (10,7 – 16,0 %), altamente beneficiosa para el tracto intestinal y la prevención de algunas enfermedades. Además, en algunos estudios se ha informado sobre su elevada cantidad en compuestos fenólicos antioxidantes (Mayer et al., 2021; Abu-Reidah et al., 2017).

Sin embargo, las habas, al igual que otras legumbres, también pueden contener compuestos bioactivos tradicionalmente clasificados como antinutrientes, que pueden reducir la digestibilidad de algunos nutrientes, como las proteínas y algunos minerales, principalmente hierro y zinc (Mayer et al., 2021). Sin embargo, algunos de estos compuestos antinutrientes, como es el caso del ácido fítico, a bajas dosis se consideran beneficiosos para la salud, ya

que se ha visto su efecto anticancerígeno (Steer y Gibson, 2002). Los niveles de antinutrientes varían según el cultivar de haba, el estado de maduración, el clima, las propiedades del suelo, etc. (Kumar et al, 2015), y se ha visto que pueden reducirse con operaciones como el remojo, la cocción o la fermentación (Popova y Mihaylova, 2019).

Con respecto a las vainas, el principal subproducto de esta legumbre, se conoce su consumo en algunos países como Italia en épocas de escasez y pobreza, y actualmente algunos autores proponen su uso para enriquecer platos convencionales debido a su composición.

No obstante, hay que tener en cuenta que este subproducto presenta un elevado contenido en agua que lo hace altamente perecedero, por lo que sería interesante aplicar algún tipo de proceso de deshidratación que permita estabilizarlo, pero minimizando la pérdida de compuestos nutritivos y bioactivos, (Barbosa-Cánovas et al., 2005). El producto obtenido tras el secado de la vaina del haba, podría triturarse y el polvo obtenido podría incorporarse en la formulación de otros alimentos. Los productos en polvo ya gozan de gran popularidad en la industria alimentaria para ser utilizados como aditivo, aliño, etc. (Cuq et al, 2013).

La goma arábiga (GA) es un polisacárido fibroso producido naturalmente por el árbol *Acacia* (*Acacia Senegal* y *Acacia Seyal*). Se ha estudiado su eficacia en el proceso de encapsulación de compuestos, ayudando a prevenir la degradación de bioactivos durante el procesado o almacenamiento de los productos y protegiendo al producto de la oxidación (Silva et al., 2021). Además, la adición de esta fibra responde al creciente interés de la industria alimentaria por aumentar este componente en los alimentos debido a sus efectos beneficiosos para la salud (Laureanti et al., 2023).

Es por todo esto, que en este trabajo se propone como objetivo general la caracterización de un producto en polvo obtenido a partir del principal subproducto del sector de las habas, las vainas, estudiando su perfil nutricional (proteína, grasa, hidratos de carbono, fibra, almidón y cenizas), compuestos bioactivos (fenoles totales, clorofilas y carotenoides totales), actividad antioxidante y posible contenido en antinutrientes (vicina, fitatos, inhibidores de tripsina, saponinas y fenoles condensados) y así conocer la conveniencia del reaprovechamiento de este subproducto. Para ello se obtendrá la harina de la vaina de esta legumbre mediante dos métodos de secado: secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), ambos a 50 °C.

Como primer objetivo específico se estudiará la influencia de la adición de goma arábiga al producto en tres proporciones distintas: Sin adición de goma, con un 22,5 % (g de goma/100 g de sólidos secos de puré de vaina de haba) y con un 45 % de adición del polisacárido, para cada método de secado por separado.

Como segundo objetivo específico se estudiará si el método de obtención (SAC, LIO) de la harina influye en el contenido final de los componentes a estudiar, en las muestras sin adición de goma.

El desarrollo de este trabajo está alineado con algunos Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) descritos por las Naciones Unidas en la agenda 2030. Entre ellos destacan: el ODS 12 – Producción y consumo responsables, ya que se da una segunda vida a un subproducto reduciendo su impacto en el medio ambiente y el ODS 2 – Hambre cero, ya que el estudio sobre el aprovechamiento de este tipo de residuos y para obtener sistemas de producción más sostenibles puede mejorar el acceso a alimentos en zonas menos desarrolladas (ONU, 2022).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Materia prima

Para el desarrollo de este trabajo se utilizó vaina de haba (*Vicia Faba L.*) de la variedad Criolla, proporcionada por la Cooperativa Sol y Tierra ubicada en Campo de Cartagena (Murcia), durante los meses de enero y febrero.

2.2. Procesado y obtención del polvo de vaina de haba.

Las habas fueron lavadas, despuntadas y desgranadas manualmente para obtener las vainas. Una vez separadas, las vainas se escaldaron a 100 ± 2 °C durante 60 segundos para desactivar las enzimas (Tigreros et al., 2021) y se pasaron a un baño de hielo durante 60 segundos para detener el proceso de escaldado, secando posteriormente el agua con papel.

A continuación, las vainas obtenidas se trituraron (Robot coupe, Blixer, 700 W, 3000 rpm- Francia) para obtener un puré. En el caso de las muestras con goma arábica (GA, Scharlab, Sentmenat, España), ésta se añadió en la proporción correspondiente y se volvió a mezclar durante 1 minuto.

Una parte de este puré se guardó en refrigeración para su posterior caracterización y poder ser utilizada como control. La muestra restante se separó en dos fracciones y se continuó con el procesado como se describe a continuación. El puré obtenido fue secado de dos formas distintas hasta alcanzar una humedad inferior a 5 g agua/100 g muestra:

- Secado por aire caliente (SAC) (Dehydrator DA 506, Graef, Alemania): El puré se distribuyó de manera uniforme en bandejas con un espesor de 0,5 cm. Se dejó secar durante 7 horas a 50 °C.
- Liofilización (LIO) (Telstar Lioalfa – 6, España): El puré se distribuyó en bandejas de aluminio con un espesor de 0,5 cm. Se congeló previamente durante 24 horas en un arcón congelador a -40 °C (Liebherr LGT 2325, Alemania). Transcurrido este tiempo se colocaron en el liofilizador donde se trabajó con una temperatura en el condensador -50 °C, una presión de 0,05 mbar y temperatura en las bandejas 50 °C, durante 6 horas.

Por último, los productos obtenidos se molieron en un molino ultracentrífugo (Retsch ZM 300, Alemania) para obtener el producto final en polvo con un tamaño de partícula de 45 μm .

Las muestras fueron guardadas en bolsas herméticas de plástico (Multiusos Zipper, Albal, España), dentro de botes de vidrio herméticos y en refrigeración hasta su análisis. Cada muestra fue codificada con la terminación SAC (Secado por aire caliente) o LIO (Liofilización) según el tipo de secado y seguido de un dígito correspondiente a la cantidad de goma arábica añadida: Sin adición de goma, con un 22,5 % (g de goma/100 g de sólidos secos de puré de vaina de haba) y con un 45 % (0; 22,5 o 45, respectivamente).

2.3. Determinaciones analíticas

Todos los análisis se realizaron por triplicado para cada muestra.

2.3.1. Caracterización nutricional

El contenido de agua (x_w) del puré de vaina de haba se determinó mediante el método gravimétrico de secado en estufa (J.P. Selecta, Barcelona, España) (AOAC, 1990). Para medir la x_w en las muestras secas se empleó el método de valoración volumétrica de Karl Fischer (Mettler Toledo, Compact Coulometric Titrator C10S, Worthington, USA). Se determinó el contenido en proteína, grasa, cenizas, almidón y fibra de las muestras de vaina de haba en polvo. El contenido en proteína se determinó por el método Kjeldhal 955.04/90 (AOAC, 1990). Las grasas, se analizaron mediante el método de extracción directa Soxhlet 920.39c (AOAC, 1990). Las cenizas fueron determinadas por el método gravimétrico 942.05/90 (AOAC, 1990). El almidón se determinó mediante el Método de Ewers, UNE-EN-ISO 10520:1997 y la fibra se analizó con el método enzimático gravimétrico (Camacho et al., 2023) usando un kit para su cuantificación (1.12979.0001, Sigma-Aldrich, Darmstadt, Alemania). La determinación de los hidratos de carbono totales, se realizó por diferencia respecto al resto de componentes. Los resultados, en todos los procedimientos, fueron expresados en g de nutriente/100 g de sólidos secos (ss) de vaina de haba para poder comparar entre muestras.

2.3.2. Compuestos bioactivos

2.3.2.1. Fenoles totales

La extracción de los fenoles totales se realizó con el disolvente MeOH:H₂O (70:30) en agitación magnética durante 30 minutos y en oscuridad. Posteriormente las muestras se centrifugaron (Gyrozen 1236 R, Korea) a 10000 rpm durante 10 minutos a 4 °C, y se recogió el sobrenadante (Camacho et al, 2022). La cuantificación se realizó por el método Folin-Ciocalteu (García-Martínez et al. 2023), midiendo la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 765 nm y los resultados se expresaron en g ácido gálico/100 g ss.

2.3.2.2. Carotenoides totales

La extracción de los carotenoides se realizó de la misma manera que los compuestos fenólicos, pero empleando como disolvente de extracción la mezcla Hexano:Acetona:Etanol (50:25:25) (García-Martínez et al., 2023). Para la cuantificación se midió la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 446 nm. El resultado se expresó en mg β -caroteno/100 g ss.

2.3.2.3. Clorofilas

La extracción de las clorofilas se realizó de manera similar a los compuestos anteriores, pero empleando acetona como disolvente. La absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) del sobrenadante se midió a 646 y 663 nm (Li et al., 2021) y los resultados se presentan como mg clorofila /100 g ss.

2.3.3. Actividad antioxidante

Se midió en los extractos procedentes del análisis de compuestos fenólicos totales (fracción hidrofílica) y carotenoides totales (fracción lipofílica), (García-Martínez et al., 2023), empleando dos metodologías diferentes según se describe a continuación:

2.3.3.1. Método FRAP

Se tomaron 30 μ L de extracto, 900 μ L del reactivo FRAP y 30 μ L del disolvente de extracción según la fracción analizada. Tras 30 minutos en baño a 37 °C, se midió la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 593 nm. El resultado se expresó en mmol equivalentes de Trolox/100 g ss.

2.3.3.2. Método DPPH

Se tomaron 100 μ L de extracto y 3,9 mL del reactivo DPPH. Se midió la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 515 nm a tiempo 0 y a los 15 minutos. El resultado se expresó en mmol equivalentes de Trolox/100 g ss.

2.3.4. Compuestos antinutricionales

2.3.4.1. Vicina

Se realizó la extracción con agua destilada según el método descrito por Debnath et al. (2024) y la mezcla se centrifugó (Gyrozen 1236 R, Korea) a 10000 rpm durante 15 minutos. Se midió la absorbancia (SpectrostarNano BMG LABTECH, Alemania), a 274 nm, y el resultado se expresó en g de vicina/100 g ss.

2.3.4.2. Inhibidores de tripsina

Para esta determinación se siguió el protocolo de análisis de Smith et al. (1980). Se midió la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 410 nm y el resultado se expresó en mg tripsina inhibida/100 g ss.

2.3.4.3. Ácido fítico

Se empleó HCl al 3,5 % como disolvente de extracción. Tras agitar 1 hora en oscuridad la mezcla se centrifugó (Gyrozen 1236 R, Korea) a 10000 rpm, 10

minutos. Para la cuantificación se siguió el análisis descrito por Vaintraub y Latpeva (1988) y se midió la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 500 nm, expresando el resultado en mg ácido fítico/100 g ss.

2.3.4.4. Saponinas

La extracción se realizó empleando como disolvente de extracción MeOH:H₂O, (80:20). Tras agitación durante 12 h, se centrifugó (Gyrozen 1236 R, Korea) a 10000 rpm, 10 minutos y se siguió el método espectrofotométrico clásico descrito por Hiai et al. (1976). Se realizó la lectura de la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 520 nm y el resultado se obtuvo en g diosgenina /100 g ss.

2.3.4.5. Compuestos fenólicos condensados

Se extrajeron con el disolvente MeOH acidificado con HCl al 1 %. Tras 12 h de agitación, se centrifugó (Gyrozen 1236 R, Korea) a 10000 rpm, 10 minutos y 4 °C y se siguió el protocolo de acuerdo con el método Folin-Ciocalteu (Singleton et al., 1999). Se midió la lectura de la absorbancia (VWR Spectrophotometer V-1200, EEUU) a 500 nm, expresando el resultado en g catequina/100 g ss.

2.4. Análisis estadístico

Se realizaron análisis de varianza simple (ANOVA) con un valor de confianza del 95 % (p-valor < 0,05). Para ello se utilizó el Statgraphics Centurion XIX bajo licencia de la Universitat Politècnica de València.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización nutricional

El puré de vaina de haba mostró un contenido de agua del $87,9 \pm 0,9$ % y las muestras en polvo alcanzaron una humedad de entre 3,20 – 4,55 %, del orden de la que corresponde para productos en polvo, aconsejadas por otros autores para asegurar su estabilidad (Barbosa-Cánovas et al., 2005). En la Tabla 1 se muestra la composición proximal de las muestras en polvo. El componente mayoritario en todos los casos son los carbohidratos, entre los cuales predomina la fibra dietética.

También destaca su alto contenido en proteína y su escaso contenido en grasa. Si comparamos los resultados obtenidos de la vaina de haba con la composición nutricional de las semillas (Mayer-Labba et al., 2021 y Millar et al., 2019), podemos observar que el valor de la grasa (1,57 %) y las proteínas (26,2 – 28 %) es muy similar, mientras que las cenizas y el contenido en fibra total es mucho menor en las habas (3,40 % y 16 %, respectivamente) que en su subproducto. Además, se considera que el contenido en proteínas de la vaina de haba es superior a la vaina de otras legumbres, como las judías verdes (Renna et al., 2020).

TABLA 1. Valores medios (con su desviación estándar) del contenido en grasa, proteína, cenizas e hidratos de carbono (totales, almidón y fibra) de las distintas muestras de vaina de haba en polvo obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y liofilización (LIO), y con varias concentraciones de goma arábiga (0; 22,5 y 45 g/100 g sólidos secos de puré de vaina de haba). Los resultados se expresan en g /100g de sólidos secos.

			Goma 0	Goma 22,5 %	Goma 45 %
Grasa	SAC		1,06 ± 0,03 ^{aA}	0,3 ± 0,1 ^B	0,32 ± 0,03 ^B
	LIO		1,251 ± 0,108 ^{ba}	0,150 ± 0,001 ^C	0,55 ± 0,03 ^B
Proteína	SAC		21,76 ± 0,05 ^{aA}	20,7 ± 0,6 ^A	14,0 ± 0,9 ^B
	LIO		8,904 ± 0,002 ^{ba}	22,96 ± 0,19 ^C	13 ± 2 ^B
Cenizas	SAC		7,9 ± 0,4 ^{aA}	7,70 ± 0,05 ^A	11,13 ± 0,03 ^B
	LIO		9,2 ± 0,7 ^{ba}	8,09 ± 0,13 ^A	12,566 ± 0,009 ^B
Hidratos de carbono	Totales	SAC	66,1 ± 0,3 ^{aA}	66,7 ± 0,7 ^A	71 ± 1 ^B
	De los cuales:	LIO	76,9 ± 0,6 ^{ba}	64,9 ± 0,3 ^C	71 ± 2 ^B
	Almidón	SAC	10,9 ± 0,4 ^{aA}	26,2 ± 0,2 ^B	27 ± 1 ^B
		LIO	19 ± 3 ^{ba}	20,57 ± 0,12 ^A	24,18 ± 0,08 ^A
	Fibra soluble	SAC	14,1 ± 0,4 ^{aA}	34,1 ± 0,1 ^B	56,0 ± 0,3 ^C
		LIO	17,7 ± 0,1 ^{ba}	32 ± 4 ^B	55 ± 1 ^C
	Fibra insoluble	SAC	26 ± 1 ^{aA}	18,9 ± 0,9 ^B	27 ± 1 ^A
		LIO	19 ± 3 ^{ba}	19 ± 1 ^A	21,2 ± 0,4 ^A
	Fibra total	SAC	40,2 ± 0,6 ^{aA}	53,0 ± 0,8 ^B	82,99 ± 0,13 ^C
		LIO	36 ± 3 ^{ba}	51 ± 2 ^B	76,4 ± 0,7 ^C

Para la columna Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula y superíndice muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los dos métodos de secado. Por filas, y para cada método de secado por separado, letras diferentes (A-B-C) en mayúscula, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida.

En general el tratamiento de secado y la adición de GA afectaron de manera significativa ($p < 0,05$) a todos los compuestos analizados. Las diferencias observadas en los compuestos nutricionales respecto al factor secado pueden deberse más al diferente lote de procedencia de las habas que a los tratamientos SAC y LIO, ya que no parece existir evidencias de que las condiciones empleadas de ambos secados puedan afectar a los mismos (Li et al., 2023). Por otra parte, la adición de GA disminuyó el contenido en grasa y aumentó los carbohidratos (el almidón y la fibra) y las cenizas debido al aporte de la misma.

Se ha visto el efecto positivo de la fibra dietética soluble en la regulación del colesterol y de la glucosa postprandial en sangre, disminuyendo respuesta insulínica; también pueden tener efectos beneficiosos en la protección contra varias formas de cáncer, reducción de la presión arterial y ejercer un efecto antiinflamatorio en el tracto digestivo. Por su parte la fibra dietética insoluble reduce el tiempo de tránsito gastrointestinal y aumenta el volumen fecal, mejorando el funcionamiento del sistema digestivo (Chawla y Patil., 2010). Así, por su alto contenido en proteína y en fibra, y por los efectos beneficiosos de esta última sobre la salud, la vaina del haba puede tener usos interesantes como ingrediente alimentario para aumentar el valor nutritivo de otros productos.

3.2. Compuestos bioactivos

El proceso óptimo para conservar la cantidad de compuestos antioxidantes puede variar en función del tipo de producto que se esté procesando. Dependiendo de las condiciones empleadas, los tratamientos de secado pueden provocar la degradación de compuestos bioactivos, pero también pueden liberar algunos de estos compuestos debido a cambios conformacionales. Por otro lado, las modificaciones estructurales inducidas por el secado y el triturado pueden favorecer la extracción de ciertos compuestos antioxidantes. Esto se debe a que dichos métodos alteran la matriz del producto, haciéndola más interconectada y porosa, lo cual facilita la penetración del disolvente y la subsecuente extracción de los compuestos antioxidantes (Silva et al., 2021). Los resultados de fenoles totales, carotenoides totales y clorofila se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Resultados medios con su desviación estándar del contenido en fenoles totales (mg de ácido gálico/ g ss), carotenoides totales (mg de β -caroteno/ 100g de ss) y clorofila (mg clorofila/100g de ss) de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábiga (0; 22,5 y 45 g/100g de sólidos secos) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré).

		Goma 0	Goma 22,5 %	Goma 45 %
Fenoles totales	Puré	38 \pm 3 ^b	-	-
	SAC	50,9 \pm 0,7 ^{aA}	48 \pm 1 ^A	52,9 \pm 0,3 ^A
	LIO	48 \pm 1 ^{aA}	47,1 \pm 0,8 ^A	57 \pm 1 ^B
Carotenoides totales	Puré	62 \pm 3 ^a	-	-
	SAC	43 \pm 1 ^{bB}	32,1 \pm 0,4 ^A	50 \pm 1 ^C
	LIO	44 \pm 3 ^{bB}	33 \pm 3 ^A	55 \pm 1 ^C
Clorofila	Puré	83 \pm 20 ^a	-	-
	SAC	62 \pm 2 ^{aB}	32,2 \pm 0,7 ^A	85 \pm 3 ^C
	LIO	60 \pm 11 ^{aB}	34 \pm 1 ^A	96 \pm 2 ^C

Para la columna Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula y superíndice muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los distintos métodos de secado. Por filas, y para cada método de secado por separado, letras diferentes (A-B-C) en mayúscula, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida.

Los resultados obtenidos mostraron un elevado contenido en fenoles totales, valores similares a los descritos por otros autores para la vaina de haba fresca (Chaieb et al., 2011; Renna et al., 2020), mayores a la semilla (1,4 - 5 mg/g; Mayer Labba et al., 2021) y hasta 5 veces superiores a otros vegetales como tomates, patatas, cebollas, setas, zanahorias, coliflor o brocoli (Renna et al., 2020). Estos compuestos se encuentran entre los metabolitos secundarios más abundantes en las plantas. Numerosos estudios han confirmado su impacto positivo en la salud, incluyendo propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Aryal et al. 2019). El secado y la adición de GA en las muestras liofilizadas parecen favorecer una mayor extracción de compuestos fenólicos. Así las muestras en polvo presentaron un aumento del ≈ 34 % respecto a la muestra fresca. Como ya se ha comentado, además de los cambios estructurales inducidos por los tratamientos de deshidratación que pueden facilitar la extracción de estos compuestos, aunque la temperatura empleada para el secado no sea elevada (50°C), pueden producirse diferentes reacciones

químicas de rotura de enlaces y activación de los compuestos fenólicos, interacción con otras moléculas, etc. que alteren su composición y se refleje en el aumento observado (Li et al., 2020).

Los carotenoides son compuestos liposolubles abundantes en plantas con alto contenido de clorofila, ubicándose en todos los tejidos fotosintéticos (Meléndez-Martínez et al., 2004). Entre ellos, algunos actúan como provitamina A, especialmente el beta-caroteno. Diversos estudios epidemiológicos han demostrado que los carotenoides poseen propiedades antioxidantes y pueden tener un efecto preventivo contra el cáncer y las enfermedades cardiovasculares (Ascaso, 2000). Los tratamientos de secado disminuyeron de manera significativa ($p < 0,05$) el contenido en carotenoides, observándose una disminución de alrededor del 30 % tras el secado. Esto podría deberse a la facilidad que tienen estos compuestos de oxidarse, de esta forma, la trituration, las condiciones del secado y la presencia de oxígeno han podido influir en la pérdida de estos compuestos. También se ha visto que, en vegetales triturados, al perder la integridad celular, pone en contacto sustancias que pueden modificar estructuralmente e incluso destruir estos pigmentos (Meléndez-Martínez et al., 2004). En cuanto a la adición de GA para ambos métodos de secado se observa que las concentraciones mayores presentaron mayor contenido en carotenoides, pareciendo que los protege de su degradación (Silva et al., 2021).

La clorofila es el pigmento responsable del color verde en las plantas. La clorofila también puede desempeñar un papel beneficioso para la salud debido a su elevada actividad antioxidante, así como a sus propiedades antiinflamatorias y anticancerígenas (Ebrahimi et al., 2023). En este caso no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el puré y las muestras secas, y la adición de GA afectó de la misma manera que en los carotenoides.

El contenido de carotenoides totales y clorofilas obtenido en este estudio fue superior al descrito por Renna et al. (2020) para vainas de haba frescas, que obtuvieron $\approx 6,4$ mg β -caroteno/ 100g de ss y ≈ 18 mg de clorofila /100 g de ss. En este sentido, el contenido en compuestos bioactivos en los vegetales depende principalmente del estado de madurez de la planta y del genotipo (Loizzo et al., 2020).

3.3. Actividad antioxidante

La actividad antioxidante (AAO) de los alimentos depende de la concentración de compuestos bioactivos presentes en el mismo, tales como vitaminas, carotenoides o compuestos fenólicos. Debido a que esta actividad resulta de reacciones sinérgicas entre diversos compuestos, se recomienda utilizar más de un método para su correcta evaluación.

El método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil), se basa en la capacidad de captación de radicales libres que tienen los compuestos antioxidantes presentes en un alimento (Cos et al., 2000). Por otro lado, el método FRAP se basa en el principio de que los antioxidantes son sustancias capaces de reducir el ion férrico

al estado ferroso (Mercado-Mercado et al., 2013). En este estudio se midió dicha actividad mediante los dos métodos y para las fracciones hidrosoluble (extracción de fenoles totales) e hidrosoluble (extracción de carotenoides). Los resultados se muestran en las Figuras 1 (Método FRAP) y 2 (Método DPPH).

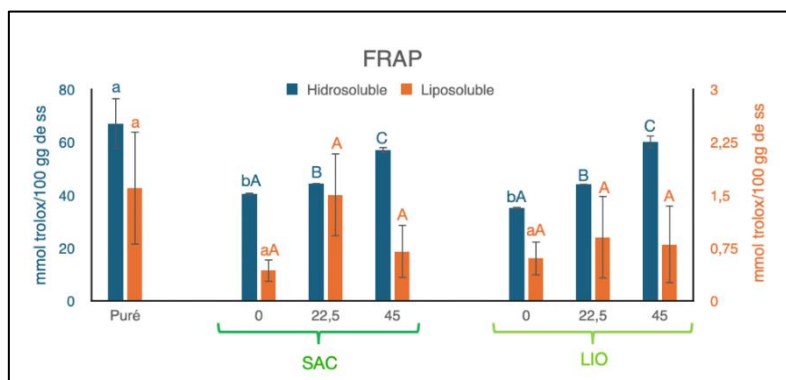


Figura 1. Valores medios (con su desviación estándar) de la actividad antioxidante (método FRAP) de la fracción hidrosoluble (representado en el eje de ordenadas principal) y liposoluble (representado en el eje de ordenadas secundario) de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábica (0; 22,5 y 45 g/100 g ss) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré). Resultados expresados en mmol Trolox/100g de ss.

Para las muestras Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula y para cada fracción por separado (hidrosoluble y liposoluble), indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los dos métodos de secado. Para cada método de secado y para cada fracción por separado, letras diferentes (A-B-C) en mayúscula indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida.

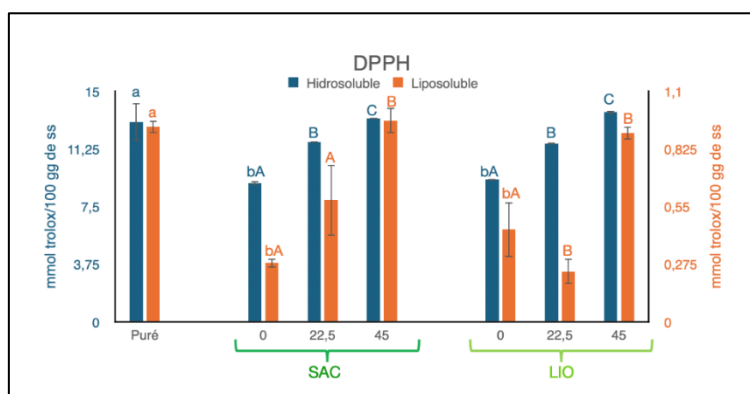


Figura 2. Valores medios (con su desviación estándar) de la actividad antioxidante (método DPPH) de la fracción hidrosoluble (representado en el eje de ordenadas principal) y liposoluble (representado en el eje de ordenadas secundario) de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábica (0; 22,5 y 45 g/100 g ss) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré). Resultados expresados en mmol Trolox/100g de ss.

Para las muestras Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula y para cada fracción por separado (hidrosoluble y liposoluble), indican diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los dos métodos de secado. Para cada método de secado y para cada fracción por separado letras diferentes (A-B-C) en mayúscula, indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida.

De forma general, la actividad antioxidante fue mayor en el caso de la fracción hidrosoluble (35,1 – 67 y 9,02 – 13,63 mmol equivalentes de Trolox, en FRAP y DPPH, respectivamente) que en la liposoluble (0,43 – 1,6 y 0,24 – 0,96 mmol equivalentes de Trolox, en FRAP y DPPH, respectivamente), y esto podría deberse a la mayor cantidad de fenoles totales con respecto a los carotenoides y clorofilas, como se puede observar en la tabla 2.

A la vista de la Figura 1 y 2, se puede concluir que para ambas fracciones y para ambos tipos de secado la AAO disminuyó de manera significativa ($p < 0,05$) respecto al puré, no observándose diferencias entre SAC y LIO sin GA. Esta disminución en la actividad antioxidante podría deberse a la presencia de otros compuestos bioactivos no analizados en este trabajo, que aportan AAO y se pierden durante el proceso de secado (Mercado-Mercado et al., 2013).

En referencia a la adición de GA, en general se observó un aumento de la AAO en ambas fracciones y método de secado al aumentar la concentración de goma, correspondiéndose así a su capacidad de proteger los compuestos bioactivos, como se ha comentado anteriormente (Silva et al. 2021).

3.4. Compuestos antinutrientes

La vicina (Figura 3), es el factor antinutriente más característico del género *Vicia*, aparece principalmente en los cotiledones de la planta y puede provocar la enfermedad conocida como favismo en personas afectadas con deficiencia severa de la enzima glucosa-6-P deshidrogenasa (G6PD) debido a una mutación genética (Bello y Mohamed, 2015), por lo que su estudio es de gran interés para comprobar si este compuesto también aparece en la vaina del haba.

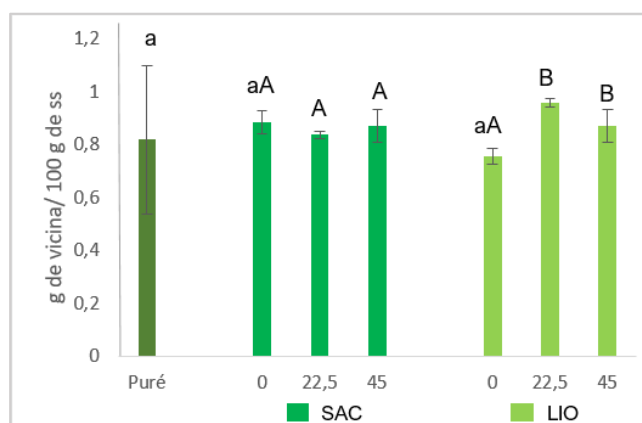


FIGURA 3. Valores medios (con su desviación estándar) de vicina de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábiga (0; 22,4 y 45 g/100g de sólidos secos) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré). Valores expresados en g de vicina/ 100g de sólidos secos.

Para las muestras Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los distintos métodos de secado y letras diferentes (A-B) en mayúscula indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida, en cada uno de los métodos de secado por separado.

El resultado de la vicina en la vaina de haba ($0,8 \pm 0,3$ g/100 g de ss) es del mismo orden que el de la semilla (Mayer-Labba et al., 2021). Como se observa en la gráfica 3, la vicina no se vió afectada ($p>0,05$) por los tratamientos de secado y aumentó con la adición de GA en las muestras liofilizadas.

En cuanto a los inhibidores de tripsina, se ha demostrado en estudios anteriores que la muestra debe producir una inhibición de tripsina del 40 al 60 % para considerar que realmente hay una acción inhibitoria (Liu, 2019). Tras realizar el análisis correspondiente en las muestras del presente estudio, se obtuvo que todas las muestras presentaban un % de inhibición < 40 %, es por esto, que se puede considerar que las muestras no contienen inhibidores de tripsina.

El ácido fítico se encuentra en las semillas de plantas como los granos, las legumbres y los frutos secos. Puede afectar a la absorción de ciertos minerales en el intestino humano al formar complejos insolubles con ellos. También se ha visto que interfiere en la digestión de proteínas al inhibir enzimas digestivas como la pepsina y la amilasa (Popova y Mihaylova, 2019). También se han descrito varios beneficios potenciales para la salud como propiedades antioxidantes, prevención de enfermedades crónicas, regulación de la glucosa en sangre, efecto anticancerígeno y también puede tener un papel en la preservación de la salud ósea al inhibir la resorción ósea (Steer y Gibson, 2002; Popova y Mihaylova, 2019). Los valores medios para el ácido fítico de las muestras analizadas se presentan en la figura 4.

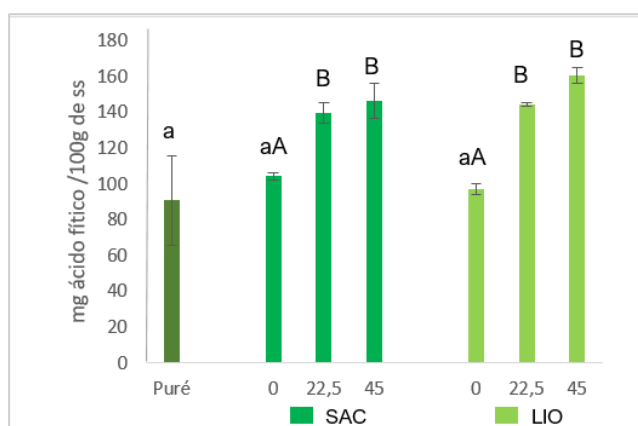


FIGURA 4. Valores medios (con su desviación estándar) de ácido fítico de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábica (0; 22,4 y 45 g/100 g de sólidos secos) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré). Valores expresados en mg de ácido fítico / 100g de sólidos secos.

Para las muestras Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula muestran diferencias estadísticamente significativas ($p<0,05$) entre los distintos métodos de secado y letras diferentes (A-B) en mayúscula indican diferencias significativas ($p<0,05$) para la proporción de goma añadida, en cada uno de los métodos de secado por separado.

La muestra de puré presentó un contenido en ácido fítico de 91 ± 25 mg/100 g de ss, siendo mucho menor al de la semilla de haba (889 ± 38 mg de ácido fítico/100 g de ss) (Millar et al., 2019). No se observaron diferencias

estadísticamente significativas ($p > 0,05$) entre el puré y las muestras secas. Por otro lado, la adición de GA aumentó la concentración de ácido fítico, indicando de nuevo que este biopolímero puede facilitar la extracción de compuestos. El cultivar, las condiciones climáticas, de suelo y de riego, la localización del cultivo y la fecha de cosecha contribuyen a la variación del ácido fítico en el haba (Mayer-Labba et al., 2021).

Las saponinas son un tipo de glucósidos que pueden interactuar con los glóbulos rojos y provocar hemólisis. Además, no se hidrolizan fácilmente por el sistema digestivo y pueden actuar como inhibidores de enzimas clave en la digestión de carbohidratos, lípidos y proteínas (Das et al., 2022). Sin embargo, también se han descrito varios efectos beneficiosos para la salud, destacando sus propiedades antimicrobianas, antiinflamatorias, anticancerígenas, hipocolesterolémicas e inmunomoduladoras (Popova y Mihaylova, 2019). Se encuentran principalmente en las legumbres, espinacas y algunas hierbas medicinales (Samtiya et al., 2020). Los valores medios obtenidos para las saponinas en las muestras de estudio se presentan en la Figura 5.

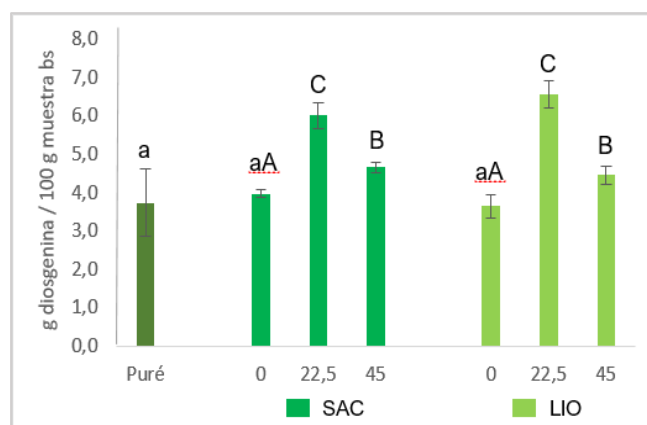


FIGURA 5. Valores medios (con su desviación estándar) de saponinas de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábica (0; 22,5 y 45 g/100 g sólidos secos) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré). Valores expresados en g de diosgenina/ 100g de sólidos secos.

Para las muestras Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los distintos métodos de secado y letras diferentes (A-B) en mayúscula indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida, en cada uno de los métodos de secado por separado.

El puré de vaina de haba presentó un contenido en saponinas de $3,7 \pm 0,9$ g/100 g de ss, del mismo orden al observado en la semilla por otros autores (Liu y Xu, 2015). No se observó efecto significativo ($p > 0,05$) de los procesos de secado en las saponinas. Por otro lado, para cada método de secado las muestras con GA a la concentración de 22,5% presentaron mayor cantidad ($p < 0,05$) de este compuesto.

Los fenoles condensados, también conocidos como taninos condensados, son un grupo de compuestos fenólicos que se encuentran en una gran variedad de alimentos y plantas (Samtiya et al., 2020). Están formados por unidades de flavonoides unidas entre sí, y son conocidos por sus propiedades antioxidantes, antiinflamatorias y antimicrobianas (Das et al. 2022). Estos compuestos se consideran antinutrientes porque interactúan con proteínas y minerales formando complejos que son menos digeribles y biodisponibles (Popova y Mihaylova, 2019). Los resultados obtenidos tras su análisis se presentan en la figura 6.

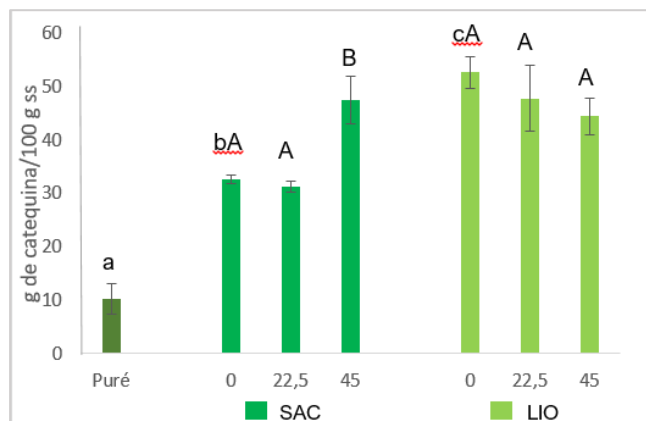


FIGURA 6. Valores medios (con su desviación estándar) de fenoles condensados de las distintas muestras de vaina de haba obtenidas por secado por aire caliente (SAC) y por liofilización (LIO), con varias concentraciones de goma arábica (0; 22,5 y 45 g/100 g sólidos secos) y de la muestra de vaina de haba triturada antes de procesar (puré). Valores expresados en g de fenoles condensados/ 100g de sólidos secos.

Para las muestras Goma 0, letras diferentes (a-b) en minúscula muestran diferencias estadísticamente significativas ($p < 0,05$) entre los distintos métodos de secado y letras diferentes (A-B) en mayúscula indican diferencias significativas ($p < 0,05$) para la proporción de goma añadida, en cada uno de los métodos de secado por separado.

El puré presentó un contenido en fenoles condensados de 10 ± 3 g/100 g de ss, mayor al de la semilla (0,03 – 0,1 g de catequina/100 g de ss) (Baginsky et al., 2013). En este caso, ambos métodos de secado aumentaron significativamente ($p < 0,05$) el contenido en estos compuestos, sobre todo LIO. Este aumento tras el secado puede deberse, como ya se ha comentado para los bioactivos, a la modificación o rotura de la estructura del producto durante el mismo, permitiendo mayor liberación de los compuestos y siendo más accesible al análisis, sobre todo en LIO donde el proceso de congelación y posterior sublimación del agua implica un cambio microestructural a nivel celular que contribuye a la extracción. Por otro lado, no se observaron diferencias significativas entre las distintas proporciones de GA en el caso de las muestras de secado LIO, pero sí en las muestras SAC a la mayor concentración añadida ($p < 0,05$).

4. CONCLUSIONES

En términos generales, se concluye que el producto en polvo obtenido a partir de la vaina de haba es una opción interesante para la reincorporación de estos desechos orgánicos a la cadena alimentaria, ya que presentan un gran potencial como ingrediente alimentario sostenible y funcional aportando fibra, proteínas y compuestos antioxidantes. Estos productos en polvo presentarían múltiples aplicaciones en la formulación de alimentos, ya que podrían ser incluidos en matrices alimentarias de distinta naturaleza (panes, productos de bollería, snacks, etc.).

En cuanto a los métodos de secado empleados para la obtención del producto en polvo, no se han observado grandes diferencias en los diferentes compuestos estudiados. Ambos métodos aumentaron el contenido en fenoles totales ($\approx 34\%$) y disminuyeron los carotenoides ($\approx 30\%$) respecto a la vaina fresca. En este sentido, el encarecimiento del proceso de liofilización a nivel industrial no recomendaría su aplicación para la producción a gran escala, a no ser que el coste del producto estuviera justificado. En consecuencia, el producto en polvo secado a $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ durante 7 horas podría constituir una buena alternativa al polvo liofilizado.

La adición de goma arábica mejoró el contenido en bioactivos y la actividad antioxidante. No obstante, cabría ampliar el estudio con otras proporciones de este biopolímero para optimizar la cantidad adecuada a añadir en la formulación.

La presencia de factores antinutricionales requiere de estudios del empleo de técnicas para eliminarlos, así como ensayos *in vitro* e *in vivo* para validar los beneficios para la salud del subproducto de la vaina del haba en polvo.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, me gustaría agradecer a mi tutora Eva García por aceptar mi incorporación a este proyecto, por permitirme realizar las prácticas en el mismo departamento y por toda su ayuda durante el proceso de elaboración del trabajo. También a Erika y Abel, componentes del grupo de investigación por el tiempo dedicado a la parte experimental del trabajo.

A mi amiga y compañera de grado Carla, con la que he tenido la suerte de compartir laboratorio en el mismo proyecto, haciendo que el trabajo siempre sea más divertido.

Por último, pero no menos importante, a mis padres, mi hermano y a Nando, que me han acompañado durante todo el grado y el máster, con las buenas decisiones y las malas, con los momentos buenos y los no tan buenos.

5. BIBLIOGRAFÍA

- Abu-Reidah, I. M., Arráez-Román, D., Warad, I., Fernández-Gutiérrez, A., & Segura-Carretero, A. (2017). UHPLC/MS2-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. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.01.014>
- Agencia Española de Seguridad Alimentaria y Nutrición (2024). Desperdicio alimentario. Ministerio de derechos sociales, consumo y Agenda 2030. Disponible en: https://www.aesan.gob.es/AECOSAN/web/para_el_consumidor/ampliacion/desperdicios.htm/27/05 [Consultado 28/05/2024]
- AOAC. (1990). *Official methods of analysis of AOAC international (15th ed.)*, Arlington, pp 1048–1049.
- AOAC. (2000). *Official methods of analysis of AOAC international (17th ed.)*. Arlington, pp 931–935.
- Aryal, S., Baniya, M. K., Danekhu, K., Kunwar, P., Gurung, R., & Koirala, N. (2019). Total Phenolic Content, Flavonoid Content and Antioxidant Potential of Wild Vegetables from Western Nepal. *Plants (Basel, Switzerland)*, 8(4), 96. Recuperado el 16 de junio de 2023, de [doi: 10.3390/plants8040096](https://doi.org/10.3390/plants8040096)
- Ascaso, J. (2000). Antioxidantes y enfermedades cardiovasculares. *Endocrinología y Nutrición*, 47(7), 191-196. <https://www.elsevier.es/es-revista-endocrinologia-nutricion-12-articulo-antioxidantes-enfermedades-cardiovasculares-12571>
- Baginsky, C., Peña-Neira, Álvaro, Cáceres, A., Hernández, T., Estrella, I., Morales, H., & Pertuzé, R. (2013). Phenolic compound composition in immature seeds of fava bean (*Vicia faba* L.) varieties cultivated in Chile. *Journal of Food Composition and Analysis*, 31(1), 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2013.02.003>
- Barbosa-Cánovas, G. V., Ortega-Rivas, E., Juliano, P., & Yan, H. (2005). Food powders: physical properties, processing, and functionality (Vol. 86, pp. 71-75). New York: Kluwer Academic/Plenum Publishers. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/0-387-27613-0>
- Bello Gutiérrez, P., & Mohamed Dafa, L.. (2015). Déficit de glucosa-6-fosfato deshidrogenasa: revisión a propósito de un caso. *Pediatría Atención Primaria*, 17(68), 361-368. <https://dx.doi.org/10.4321/S1139-76322015000500014>
- Camacho, M.M.; Martínez-Lahuerta, J.J.; Ustero, I.; García-Martínez, E.; Martínez-Navarrete, N. (2023). Composition of Powdered Freeze-Dried Orange Juice Co-Product as Related to Glucose Absorption In Vitro. *Foods*, 12, 1127. <https://doi.org/10.3390/foods12061127>
- Camacho, M.M.; Zago, M.; García-Martínez, E.; Martínez-Navarrete, N. (2022). Free and Bound Phenolic Compounds Present in Orange Juice By-Product Powder and Their Contribution to Antioxidant Activity. *Antioxidants* 2022, 11, 1748. <https://doi.org/10.3390/antiox11091748>
- Chaieb, N., González, J. L., López-Mesas, M., Bouslama, M., & Valiente, M. (2011). Polyphenols content and antioxidant capacity of thirteen faba bean (*Vicia faba* L.) genotypes cultivated in Tunisia. *Food Research International*, 44(4), 970–977. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.02.026>
- Chawla, R., & Patil, G. R. (2010). Soluble Dietary Fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 178–196. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00099.x>
- Cos, P., Calomme, M., Pieters, L., Vlietinck, A. J., & Vanden Berghe, D. (2000). STRUCTURE-ACTIVITY RELATIONS OF FLAVONOIDS AS ANTIOXIDANT AND PRO-OXIDANT COMPOUNDS (Vol. 22).

- Cuq, B., Gaiani, C., Turchiuli, C., Galet, L., Scher, J., Jeantet, R., ... & Ruiz, T. (2013). Advances in food powder agglomeration engineering. *Advances in food and nutrition research*, 69, 41-103. DOI: [10.1016/B978-0-12-410540-9.00002-8](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410540-9.00002-8)
- Das, G., Sharma, A., & Sarkar, P. K. (2022). Conventional and emerging processing techniques for the post-harvest reduction of antinutrients in edible legumes. In *Applied Food Research* (Vol. 2, Issue 1). Elsevier B.V. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100112>
- Debnath, S., Majumder, S., Tyagi, W., Rai, M., & Meetei, N. T. (2024). An Optimized Simple, Rapid and Reliable Method for Large-Scale Estimation of Vicine from Faba Bean (*Vicia faba* L.). *Food Analytical Methods*, 17(3), 436–449. <https://doi.org/10.1007/s12161-024-02571-3>
- Ebrahimi, P., Shokramraji, Z., Tavakkoli, S., Mihaylova, D., & Lante, A. (2023). Chlorophylls as Natural Bioactive Compounds Existing in Food By-Products: A Critical Review. *Plants*, 12(7), 1533. [doi:10.3390/plants12071533](https://doi.org/10.3390/plants12071533)
- García-Martínez, E., Del Mar Camacho, M., & Martínez-Navarrete, N. (2023). In Vitro Bioaccessibility of Bioactive Compounds of Freeze-Dried Orange Juice Co-Product Formulated with Gum Arabic and Modified Starch. *Molecules*, 28(2), 810. DOI: [10.3390/molecules28020810](https://doi.org/10.3390/molecules28020810)
- Hiai S., Oura H., y Nakajima T. (1976). Color reaction of some saponinins with vanillin and sulfuric acid. *Planta Medica*, 29, 116-122.
- Kumar, A., Nidhi, Prasad, N., & Sinha, S. K. (2015). Nutritional and antinutritional attributes of Faba bean (*Vicia faba* L.) germplasms growing in Bihar, India. *Physiology and Molecular Biology of Plants: An International Journal of Functional Plant Biology*, 21(1), 159–162. <https://doi.org/10.1007/s12298-014-0270-2>.
- Laureanti, E. J. G., Paiva, T. S., de Matos Jorge, L. M., & Jorge, R. M. M. (2023). Microencapsulation of bioactive compound extracts using maltodextrin and gum arabic by spray and freeze-drying techniques. *International Journal of Biological Macromolecules*, 253. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126969>
- Li, J., Lu, Y., Chen, H., Wang, L., Wang, S., Guo, X., & Cheng, X. (2021). Effect of photoperiod on vitamin E and carotenoid biosynthesis in mung bean (*Vigna radiata*) sprouts. *Food Chemistry*, 358. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129915>
- Li, L., Zhang, M., Chitrakar, B., & Jiang, H. (2020). Effect of combined drying method on phytochemical components, antioxidant capacity and hygroscopicity of Huyou (*Citrus changshanensis*) fruit. *LWT*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109102>
- Li, S.; Liu, F.; Wu, M.; Li, Y.; Song, X.; Yin, J. (2023) Effects of Drying Treatments on Nutritional Compositions, Volatile Flavor Compounds, and Bioactive Substances of Broad Beans. *Foods* 2023, 12, 2160. <https://doi.org/10.3390/foods12112160>
- Liu, K. (2019). Soybean Trypsin Inhibitor Assay: Further Improvement of the Standard Method Approved and Reapproved by American Oil Chemists' Society and American Association of Cereal Chemists International. *JAOCs, Journal of the American Oil Chemists' Society*, 96(6), 635–645. <https://doi.org/10.1002/aocs.12205>
- Liu, R & Xu, B. (2015) Inhibitory Effects of Phenolics and Saponins From Commonly Consumed Food Legumes in China Against Digestive Enzymes Pancreatic Lipase and α -Glycosidase, *International Journal of Food Properties*, 18:10, 2246-2255, DOI: [10.1080/10942912.2014.971178](https://doi.org/10.1080/10942912.2014.971178)
- Loizzo, M. R., Bonesi, M., Loizzo, M. R., Falco, T., Tundis, R., & Tundis, R. (2020). Chemical Profile and In Vitro Bioactivity of *Vicia faba* Beans and Pods. [doi:10.3390/foods2020-07712](https://doi.org/10.3390/foods2020-07712)
- Mayer Labba, I. C., Frøkiær, H., & Sandberg, A. S. (2021). Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. minor) cultivars. *Food Research International*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110038>

- Meléndez-Martínez, Antonio J., Vicario, Isabel M., & Heredia, Francisco J. (2004). Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 54(2), 209-215.
- Mercado-Mercado, Gilberto, Rosa Carrillo, Laura de la, Wall-Medrano, Abraham, López Díaz, José Alberto, & Álvarez-Parrilla, Emilio. (2013). Compuestos polifenólicos y capacidad antioxidante de especias típicas consumidas en México. *Nutrición Hospitalaria*, 28(1), 36-46. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2013.28.1.6298>
- Millar, K. A., Gallagher, E., Burke, R., McCarthy, S., & Barry-Ryan, C. (2019). Proximate composition and anti-nutritional factors of fava-bean (*Vicia faba*), green-pea and yellow-pea (*Pisum sativum*) flour. *Journal of Food Composition and Analysis*, 82. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.103233>
- Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2021). Proteaginosas (guisantes secos, altramuces dulce, habas y haboncillos). Producciones agrícolas. Cultivos herbáceos e industriales. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/leguminosas-y-oleaginosas/proteaginosas.aspx> [Consultado 28/05/2024]
- Organización de las Naciones Unidas (2022). La Agenda 2030 y los Objetivos de desarrollo sostenible. Disponible en: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/> [Consultado 06/06/2024]
- Popova, A., & Mihaylova, D. (2019). Antinutrients in Plant-based Foods: A Review. *The Open Biotechnology Journal*, 13(1), 68–76. <https://doi.org/10.2174/1874070701913010068>
- Renna M, De Cillis F, Leoni B, Acciardi E, Santamaria P. (2020) From by-Product to Unconventional Vegetable: Preliminary Evaluation of Fresh Fava Hulls Highlights Richness in L-Dopa and Low Content of Anti-Nutritional Factor. *Foods*. 2020; 9(2):159. <https://doi.org/10.3390/foods9020159>
- Samtiya, M., Aluko, R.E. & Dhewa, T. Plant food anti-nutritional factors and their reduction strategies: an overview. *Food Prod Process and Nutr* 2, 6 (2020). <https://doi.org/10.1186/s43014-020-0020-5>
- Silva-Espinoza, M. A., García-Martínez, E., & Martínez-Navarrete, N. (2021). Protective capacity of gum Arabic, maltodextrin, different starches, and fibers on the bioactive compounds and antioxidant activity of an orange puree (*Citrus sinensis* (L.) Osbeck) against freeze-drying and in vitro digestión. *Food Chemistry*, 357. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129724>
- Singleton, V. L.; Orthofer, R.; Lamuela-Raventos, R. M. (1999) Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-ciocalteu reagent. *Methods Enzymol.*, 299, 152-178.
- Smith, C., Van Megen, W., Twaalfhoven, L., y Hitchcock, C. (1980). The determinations of trypsin inhibitor levels in foodstuffs. *Journal of Science and Food Agriculture*, 31, 341-350
- Stenmarck, A., Jensen, C. Quested, T. & Moates, G. (2016). Estimate of European food waste levels. Fusions EU Project. Disponible en: <https://www.eu-fusions.org/phocadownload/Publications/Estimates%20of%20European%20food%20waste%20levels.pdf>
- Steer T.E., Gibson G.R. (2002). The microbiology of phytic acid metabolism by gut bacteria and relevance for bowel cancer. *Inter. J. Food Sci. and Technol.*, 37: 783-790.
- Tigeros, J.A., Parra, S., Martínez, J., Ordóñez, L. E.(2021), “Diferentes métodos de escaldado y su aplicación en frutas y verduras”, *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales* 8 (1), Enero-Junio 50-63. DOI: <https://doi.org/10.23850/24220582.3710>
- Vaintraub, I.A. and N.A. Lapteva, Colorimetric determination of phytate in unpurified extracts of seeds and the products of their processing. *Analyt Biochem*, 1988. 175(1): 227-30.

6. ANEXO

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

Objetivos de Desarrollo Sostenible	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		
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